

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS

**“AVALIAÇÃO DAS QUALIDADES FÍSICAS E FISIOLÓGICAS DA
SEMENTE DE ARROZ NA SECAGEM EM BATELADA EM
LEITO DE JORRO CÔNICO UTILIZANDO CICLOS DE
RESFRIAMENTO”**

Autor: Mara Heloisa Neves Olsen

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Cremasco

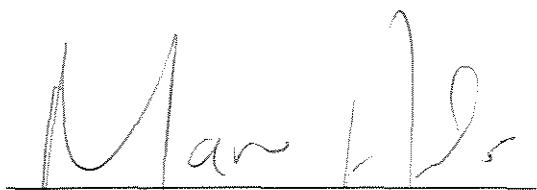
Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Engenharia
Química como requisito à obtenção do
título de Mestre em Engenharia
Química, área de concentração em
Engenharia de Processos.

Campinas - SP

julho - 1998



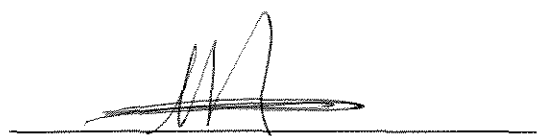
Disertação de Mestrado defendida e aprovada em 01 de julho de 1998
pela banca examinadora constituída pelos professores doutores:



Prof. Dr. Marco Aurélio Cremasco

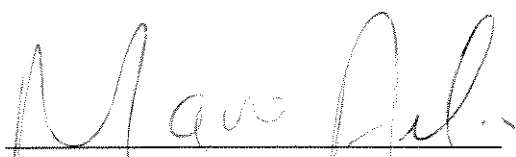


Prof. Dr. Theo Guenter Kieckbusch



Prof. Dr. Luiz Fernandes Razera

Esta versão corresponde a redação final da Dissertação de Mestrado em Engenharia Química defendida pela Engenheira Química Mara Heloisa Neves Olsen e aprovada pela Comissão Julgadora em 01 de julho de 1998.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Marco Aurélio', is written over a horizontal line.

Prof. Dr. Marco Aurélio Cremasco
orientador

A Deus !!

*... Em particular aos meus
pais, Wilson e Lurdinha, meus
irmãos, Marta, Júnior e Paula
e a pequena e grande Larissa.*

Ao Robson com todo o meu amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de uma forma ou outra contribuíram para a realização deste trabalho, e em especial:

Ao professor Dr. Marco Aurélio Cremasco pela incansável orientação, paciência e incentivo.

À Faculdade de Engenharia Química da Unicamp, através do Departamento de Termofluidodinâmica, pela oportunidade e infra-estrutura oferecida ao trabalho.

À Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, em especial ao Departamento de Pré-processamento Agrícola, pelo apoio técnico, por terem me recebido como um deles, ajudando e estimulando no desenvolvimento da tese.

Ao Instituto Agrônomo de Campinas pelo apoio na aquisição do material.

Ao “seu” Levi e ao Fábio pela ajuda com o equipamento, e ao Celso pela ajuda na realização dos experimentos e principalmente pelos momentos de alegria.

À Rosa pela ajuda, acompanhamento e dedicação na realização das análises feitas na FEAGRI.

Aos amigos Alexandre de Paula Peres e William James Nogueira Lima pelo carinho, paciência, ajuda e, principalmente pela convivência.

À Danúzia Pinto da Silva, Everaldo Silvino dos Santos, Maria Eliziane Pires e João pela convivência e companheirismo.

Aos amigos da Faculdade de Engenharia Química: Ângela, Marlus, Sandra, Márcio, Elenise, Mário, Daniela, Ruth, Vandoel, César, Adriano, João e meu querido “irmãozinho” Jefferson Correa pela amizade, momentos de descontração e companheirismo.

Aos eternos companheiros de turma Maringaense que durante esse período foram a minha família: Vanessa, Renato, Mauro, Fernanda, Marcinha, Adriana, Diou, Thomaz, Roxo, Márcia, Gui, Ticiane, Alessandro, e os "adotados": Sérgio, Gustavo, Nelsinho e Iran, e ainda os que mesmo distantes continuam presentes.

Aos meus dois grandes amigos Caco e Jean que fizeram pequenos momentos se tornarem inesquecíveis.

As minhas irmãs de coração, amigas e cúmplices, Cristiane Toshie, Miriam Carla e Noeli, pela convivência e amizade sincera.

Ao Robson pela paciência, compreensão, dedicação e amor.

Em especial aos meus pais pelo incentivo, apoio e compreensão, não só neste, mas em todos os momentos de minha vida.

Ao CNPq pelo apoio financeiro concedido.

A todos que dedicaram alguma contribuição a este trabalho, por menor que tenha sido.

Muito Obrigada!!

*O mistério do homem se ilumina
quando percebe que a marcha de seu
destino vai na linha de perspectivas
fraternas.*

George Roux

SUMÁRIO

Sumário	i
Resumo	iv
Abstract	v
Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	ix
Nomenclatura	x
1 - Introdução	1
2 - Revisão Bibliográfica	6
2.1 - Aspectos Morfológicos e Fisiológicos da Semente de Arroz	6
2.1.1 - A Semente	7
2.2 - Qualidade das Sementes	9
2.2.1 - Fatores que Afetam a Qualidade da Semente de Arroz.....	10
2.3 - Avaliação da Qualidade das Sementes	11
2.3.1 - Avaliação da Qualidade Física das Sementes de Arroz	12
2.3.2 - Avaliação da Qualidade Fisiológica das Sementes de Arroz	15
2.4 - Influência das Variáveis de Secagem na Qualidade	

das Sementes	19
2.5 - Secador em Leito de Jorro	21
2.5.1 - Mecanismo	23
2.6 - Secagem em Leito de Jorro Cônico	25
2.7 - Influência da Secagem em Leito de Jorro Cônico na Qualidade Física do Produto	27
2.8 - Secagem com Utilização de Ciclos de Resfriamento	31
3 - Materiais e Métodos	35
3.1 - Material Utilizado	35
3.2 - Equipamentos	37
3.2.1 - Secador em Leito de Jorro Cônico	37
3.2.2 - Máquina Beneficiadora de Arroz	43
3.2.3 - Câmara de Germinação	44
3.3 - Procedimento Experimental	46
3.3.1 - Cinética de Secagem	46
3.3.2 - Avaliação da Qualidade Fisiológica das Sementes de Arroz	48
3.3.3 - Avaliação da Qualidade Física das Sementes de Arroz	51
3.4 - Medidas	52
3.5 - Planejamento Fatorial	55
4 - Apresentação e Análise dos Resultados Experimentais	58
4.1 - Análise da Secagem	68
4.2 - Análise do Percentual de Germinação e de Vigor de Sementes de Arroz Submetidas à Secagem com ciclos de	

resfriamento	75
4.3 - Análise da Influência da Cinética de Secagem com Ciclos de Resfriamento na Qualidade Física das Sementes de Arroz	82
4.3.1 - Quebra	82
4.3.2 - Fissuras	92
5 - Conclusões e Sugestões	100
5.1 - Conclusões	100
5.2 - Sugestões	102
Referências Bibliográficas	103
Bibliografia Consultada	111
Apêndice A	113
Apêndice B	126
Anexos	146

RESUMO

O presente trabalho experimental em secador em leito de jorro cônico, foi realizado com o objetivo de determinar a influência da secagem na qualidade de sementes de arroz. A adoção de ciclos de resfriamento foi necessária para obter a redução adequada da umidade da semente. A técnica de ciclos de resfriamento consistiu em diminuir a temperatura do ar de secagem com o equipamento em operação mantendo a temperatura das sementes abaixo da sua temperatura limite de degradação (35°C). Um número de três ciclos de resfriamento com duração de 20 min foi determinado sem que houvesse perda significativa da qualidade do produto. Foram analisadas a influência conjunta das variáveis de secagem na qualidade das sementes de arroz observando que a carga úmida de sólidos, umidade inicial da semente e a junção da temperatura do ar de secagem com a umidade inicial da semente influenciam no poder de germinação e no vigor das sementes de arroz. Quanto menor a carga úmida de sólidos, maior o percentual de redução de germinação e vigor e quanto maior a temperatura do ar de secagem e umidade inicial do produto, maior será o percentual de redução da qualidade fisiológica. Ensaio ultrapassando a temperatura limite de degradação, mostraram-se inadequados, pois, os índices de germinação e vigor sofreram queda acentuada. Observou o surgimento de fissuras durante o processo de secagem e foi possível constatar que estas apareceram no período após secagem em cerca de 4% do volume da sementes, e verificou que as sementes fissuradas não levam, necessariamente à quebra e, ainda que as fissuras não influenciam no poder de germinação e vigor das sementes.

ABSTRACT

Experimental work with spouted bed was carried out in order to evaluate the influence of the drying process on the quality of rice seeds. The use of cooling cycles was necessary to obtain suitable reduction of the moisture content of the seed. The cooling technique consisted of turning down the drying air temperature with equipment in operation keeping seeds temperature lower than the degradation limit (35°C). It has been verified that longer cooling cycles lead to lower rates of physical and physiological quality. A number of three cycles 20 minutes long was determined with no significative loss of product quality. It was carried out an analysis of variables influence upon the rice seed taking into account the influence of the wet load and also the temperature of the drying air along with the initial moisture content of the seed. Experimental runs in a range above the limit temperature of degradation proved to be inadequate, once the rate of germination and vigor had a steep fall, thus showing the influence of the seed temperature. Fissures were observed during the drying process in about 40% of the seed volume.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Partes constituintes da semente de arroz (Juliano, 1972).....	8
Figura 2.2	Movimento de partículas em leito de jorro	22
Figura 2.3	Curva caracterísitica de um leito de jorro cônico, Mathur e Epstein (1974)	23
Figura 2.4	Ensaio experimental realizado nas seguintes condições de operação: $T=95^{\circ}\text{C}$; $W_0=20\text{kg}$; $U_0=0,27$; $Q/Q_{jm}=1,21$; $\omega_0=0,901$	30
Figura 2.5	Ensaio experimental realizado nas seguintes condições de operação: $T=95^{\circ}\text{C}$; $W_0=30\text{kg}$; $U_0=0,27$; $Q/Q_{jm}=2,74$; $\omega_0=0,905$, Faria (1997)	30
Figura 2.6	Ensaio experimental realizado nas seguintes condições de operação: $T=110^{\circ}\text{C}$; $W_0=20\text{kg}$; $U_0=0,27$; $Q/Q_{jm}=1,23$; $\omega_0=0,930$, Faria (1997) ...	31
Figura 2.7	Curvas de variação do rendimento de grãos inteiros, redução da umidade e temperatura dos grãos	33
Figura 2.8	Curvas de variação do rendimento de grãos inteiros, redução da umidade e temperatura dos grãos	33
Figura 3.1	Esquema unidade de secagem em leito de jorro cônico	38
Figura 3.2	Detalhe fotográfico da unidade de secagem em leito de jorro cônico	39
Figura 3.3	Psicrômetro de dupla mecha	40
Figura 3.4	Detalhe fotográfico do aquisidor de dados	41
Figura 3.5	Detalhe fotográfico do resfriador	42
Figura 3.6	Máquina testadora da marca SUZUKI	43
Figura 3.7	Detalhe fotográfico da máquina testadora	44
Figura 3.8	Detalhe fotográfico da câmara de germinação.....	45
Figura 3.9	Crescimento normal de uma planta de arroz até o 14 ^o dia	50
Figura 3.10	Detalhe fotográfico da lupa utilizada para visualização das fissuras	52
Figura 4.1	Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura das	

	sementes, poder de germinação e vigor	59
Figura 4.2	Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura das sementes, poder de germinação e vigor	59
Figura 4.3	Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura das sementes, poder de germinação e vigor	60
Figura 4.4	Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura das sementes, poder de germinação e vigor	60
Figura 4.5	Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura das sementes, poder de germinação e vigor	63
Figura 4.6	Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura das sementes, poder de germinação e vigor	64
Figura 4.7	Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura das sementes, poder de germinação e vigor	66
Figura 4.8	Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura das sementes, poder de germinação e vigor	67
Figura 4.9	Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura das sementes, poder de germinação e vigor	70
Figura 4.10	Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura das sementes, poder de germinação e vigor	71
Figura 4.11	Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura das sementes, poder de germinação e vigor	72
Figura 4.12	Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura das sementes, poder de germinação e vigor	78
Figura 4.13	Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura da semente e rendimento	84
Figura 4.14	Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura da semente e rendimento	85
Figura 4.15	Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura da semente e rendimento	86
Figura 4.16	Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura da	

semente e rendimento	88
Figura 4.17 Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura da semente e rendimento	89
Figura 4.18 Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura da semente e rendimento	90
Figura 4.19 Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura da semente e rendimento	91
Figura 4.20 Curvas de variação do percentual de sementes fissuradas, midade adimensional em base úmida e temperatura da semente.....	93
Figura 4.21 Curvas de variação do percentual de sementes fissuradas, midade adimensional em base úmida e temperatura da semente.....	94
Figura 4.22 Curvas de variação do percentual de sementes fissuradas, midade adimensional em base úmida e temperatura da semente.....	96
Figura 4.23 Curvas de variação do percentual de sementes fissuradas, midade adimensional em base úmida e temperatura da semente.....	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1	Produção de arroz - safra 1997	1
Tabela 2.1	Redução da umidade do grão - correlações	28
Tabela 2.2	Evolução da temperatura do grão - correlações	29
Tabela 3.1	Propriedades físicas da semente de arroz	36
Tabela 3.2	Uma meia fração 2^{4-1} do fatorial 2^4 para estudo das respostas: germinação, vigor e rendimento da semente de arroz	56
Tabela 4.1	Condições de operação para definição do número de ciclos adotados e o intervalo de tempo de cada ciclo	62
Tabela 4.2	Condições de operação do secador em leito de jorro	68
Tabela 4.3	Valores experimentais para a constante cinética de secagem e constante cinética de aquecimento das sementes nas seguintes condições de operação	74
Tabela 4.4	Alteração nos índices de germinação e de vigor devido ao processo de secagem	77
Tabela 4.4	Alteração nos índices de germinação e de vigor devido ao processo de armazenamento	77
Tabela 4.5	Efeito das variáveis e suas interações: germinação	79
Tabela 4.6	Efeito das variáveis e suas interações: vigor	79
Tabela 4.7	Efeito das variáveis e suas interações: constante cinética de secagem (α)	81
Tabela 4.8	Efeito das variáveis e suas interações: constante cinética de aquecimento da semente (β)	81
Tabela 4.9	Efeito das variáveis e suas interações: rendimento	87
Tabela 4.10	Efeito das variáveis e suas interações: fissuras	98

NOMENCLATURA

LETRAS LATINAS

α - Ângulo da coluna cônica, Figura 3.1;

C_{ps} - Capacidade calorífica do cereal, Tabela 3.1, ($FLT^{-1}M^{-1}$);

D_c - Diâmetro da parte cilíndrica da coluna, Figura 3.1, (L);

D_i - Diâmetro do orifício de alimentação do fluido de trabalho, Figura 3.1, (L);

$d_H = \phi d_p \frac{\epsilon_{mf}}{1 - \epsilon_{mf}}$ - diâmetro hidráulico de Beek, (L);

d_p - Diâmetro característico da partícula, Tabela 3.1, (L);

D_t - Diâmetro do tubo interno, (L), Figura 2.7;

F - Número de sementes fissuradas, Equação 4.10;

G - Percentual de sementes germinadas;

H_c - Altura do cone, Figura 3.1, (L);

L - Altura da parte cilíndrica do leito, Figura 3.1, (L);

M_o - Umidade inicial do grão em base seca, (adimensional);

n - Número de ciclos de resfriamento, (adimensional), Equação 2.14;

Q - Vazão volumétrica do fluido na alimentação, ($L^3\theta^{-1}$);

Q_{jm} - Vazão volumétrica do fluido em condições de jorro estável, ($L^3\theta^{-1}$), Equação 2.1;

t - Tempo, (θ);

t_c - Tempo de resfriamento entre os ciclos de secagem, (θ), Equação 2.16;

t_{s0} - Tempo do primeiro aquecimento das sementes, (θ), Equação 2.16;

T - Temperatura do ar de secagem, (T), Equação 2.4;

T_s - Temperatura da semente, (T), Equação 2.4;

- T_{s0} - Temperatura inicial da semente, (T), Equação 2.4;
 U - Umidade da semente no instante t em base úmida (b.u), (adimensional);
 U_0 - Umidade inicial da semente, b.u., (adimensional);
 W_0 - Carga úmida inicial da semente, (M);
 Y_0 - Umidade absoluta do ar de secagem, Equação 3.4;

LETRAS GREGAS

- ω - Rendimento de grãos inteiros, (adimensional), Equação 2.13;
 ω_0 - Rendimento de grãos inteiros no início da secagem, (adimensional);
 ω_f - Rendimento de grãos inteiros no final do período de armazenamento, (adimensional), Equação 2.17;
 α - Constante da cinética de secagem global da operação, (θ^{-1}), Equação 2.14;
 α_0 - Constante da cinética para o período do primeiro aquecimento das sementes, (θ^{-1}), Equação 2.14;
 α_c - Constante da cinética de secagem a partir do período do primeiro resfriamento das sementes, (θ^{-1}), Equação 2.14;
 β - Constante da cinética de aquecimento da semente, (θ^{-1}), Equação 2.4;
 ΔP - Queda de Pressão no Leito, Figura 2.3, ($ML^{-1}\theta^{-2}$), Equação 2.2;
 ε_{mf} - porosidade na mínima fluidização, (adimensional);
 λ_{vap} - Calor latente de vaporização, (FLM^{-1});
 ρ_s - Massa específica da partícula, ($M.L^3$), Tabela 3.1;
 ρ - Massa específica do gás;
 ϕ - Esfericidade, adimensional, Tabela 3.1;

NÚMEROS ADIMENSIONAIS

$$Ko = \frac{\lambda_{\text{vap}} m_o}{Cp_s (T_s - T_{so})}, \text{ número de Kossovich modificado, Equação 2.9;}$$

$$Ms = \frac{d_H^3 \rho_s}{W_o}, \text{ relação entre as características físicas da partícula com a carga}$$

úmida de sólidos, Equação 2.9.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A presença do arroz na dieta básica dos brasileiros é comum em todas as regiões e classes sociais, constituindo-se em importante aporte de calorias e proteínas. Devido a sua importância, torna-se fundamental a realização de estudos que visem aumentar a sua produção, bem como a sua conservação. Neste sentido, procurou-se realizar um estudo experimental do efeito das condições de secagem sobre a qualidade física e fisiológica de sementes de arroz.

O ARROZ NO BRASIL

O Brasil deve aumentar a sua produção de arroz para satisfazer plenamente a necessidade de consumo interno. Nas últimas safras, desde 1995, a produção nacional de arroz esteve estagnada em torno de 10 milhões de toneladas para um consumo na ordem de 11 milhões de toneladas, (CATI, 1997) como pode ser observado por intermédio da Tabela 1.1. Uma política moderna deve ser empregada visando menores perdas na produção de cereais, buscando a qualidade desde o plantio até a colheita.

Tabela 1.1 - Produção de Arroz - Safra 1997.

Região	Produção (ton.)	Área (ha)	Sacas (60 kg/saca)
Estado de São Paulo	217.562	109.620	3.626.000
Brasil	10.000.000	-	-
Mundial	500.000.000	-	-

Fontes: DCT-CATI/SAA - Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo.

No Estado de São Paulo, a cultura de arroz ocupa o sétimo lugar em área plantada, com produtividade média em torno de 1.800 quilos por hectare. Para o ano de 1998, é esperado um aumento na produtividade, como resultado do aprimoramento orizícola (Secretaria de Agricultura e Abastecimento, 1997 - comunicação pessoal).

A maior parte do arroz produzido em São Paulo é do tipo amarelão, de grão longo e largo, cultivado sem irrigação. O arroz do tipo agulhinha (longo fino), utilizado neste trabalho, é produzido em lavouras irrigadas, situadas em sua maioria no Vale do Paraíba, e, respondeu por cerca de 25% da produção paulista nas safras de 1996/97. A produtividade média em safras anteriores foi de 3.442,5 quilos por hectare, ou 57,37 sacas de 60 quilos por hectare. Para a cultura de arroz irrigado, a semeadura é feita utilizando uma média de 100kg de sementes por hectare.

O custo operacional efetivo de produção da saca de arroz irrigado, envolvendo depreciação na colheita, secagem e beneficiamento, em lavouras com produtividade de 70 sacas/ha foi estimado pelo IEA, para safras de 1993/94, em US\$ 7,93/saca de 60quilos. O custo operacional total, envolvendo encargos financeiros, sociais e seguros foi estimado em US\$ 9,72/saca de 60 quilos, sendo 3% deste valor referente ao custo da semente.

PRESERVAÇÃO DAS SEMENTES

Desde a antigüidade, o homem conhece a importância de armazenar seguramente todo o alimento em excesso. O mesmo procedimento deve ser tomado com relação às sementes de cereais. Um armazenamento inadequado pode levar a perda da qualidade fisiológica (germinação e vigor) implicando assim em um plantio mal sucedido.

pode levar a perda da qualidade fisiológica (germinação e vigor) implicando assim em um plantio mal sucedido.

As sementes de arroz são colhidas com teor de umidade em torno de 26% (base úmida), inadequado para uma armazenagem segura, pois, elevada umidade associada à condição ambiente podem levar à deterioração da semente. A garantia de um armazenamento eficiente é alcançada quando as sementes apresentam teor de umidade de no máximo 13% (base úmida). Após a colheita as sementes são submetidas à secagem visando estabelecer as condições ideais mínimas necessária para o seu armazenamento.

A comercialização da semente é realizada de acordo com sua qualidade, apresentada dentro de padrões definidos pelo Ministério da Agricultura do Brasil e publicados pelas secretarias estaduais. No Brasil, para que a semente seja considerada de boa qualidade, é exigido um mínimo de 80% nos índices que caracterizam uma boa emergência e florescência da semente no solo, denominados de poder germinativo e vigor, respectivamente. No Estado de São Paulo, esse padrão é definido pela CESM como sendo de no mínimo 85%.

SECAGEM

A secagem é uma operação na qual se busca reduzir o teor de umidade de produtos e garantir sua conservação durante o armazenamento. Ela tem particular importância no caso das sementes. Dependendo das condições de operação utilizadas na etapa de secagem, as sementes podem sofrer diminuição da qualidade física e fisiológica, trazendo prejuízos para o produtor, uma vez que a qualidade está diretamente relacionada com alta produtividade de sementes no campo.

O processo de secagem depende muito do tipo de secador utilizado. A menos que outras razões exijam ou justifiquem, a secagem de sementes deve ocorrer nas temperaturas mais baixas do que as utilizadas na secagem de grãos, exigindo assim um período de tempo mais longo.

Mesmo com grandes avanços tecnológicos os pequenos produtores lançam mão de métodos precários para secagem de sementes de arroz, expondo as sementes em terreiros sob à ação do sol. Algumas cooperativas secam suas sementes em silos armazenadores que atuam como um secador de leito fixo, levando à secagem não-homogênea. Numa pesquisa junto aos produtores da região do Vale do Paraíba - SP, observou-se a utilização de secadores rotatórios para secagem de sementes. Estes secadores operam em regime contínuo sem nenhum controle de temperatura da semente. O ar é aquecido via queima de madeira e passa pelo tambor de secagem a uma temperatura de aproximadamente 80°C, marcada apenas num único termômetro situado na parte superior do tambor. As sementes deixam o secador com umidade em torno de 17% (base úmida) e são submetidas a um período de repouso variando de três dias a uma semana e depois são novamente submetidas à secagem, reduzindo seu teor de umidade para 13% (base úmida). Os produtores garantem fornecer sementes de boa qualidade e grãos sem índice de quebra significativa.

Procurando melhor atender as necessidades do pequeno agricultor, pesquisas estão sendo desenvolvidas com o objetivo de fornecer um equipamento de secagem de fácil operação, manutenção, baixo custo e que apresente melhores resultados na qualidade final do produto.

Encontra-se na literatura diversos trabalhos envolvendo a secagem de cereais em leito de jorro em que a utilização deste equipamento é aconselhada devido a sua simplicidade de construção, facilidade no uso de altas

temperaturas do ar de secagem bem como manutenção da temperatura dos grãos abaixo de 60°C. Vários autores salientaram estas características, entre eles, Barrozo (1985), Cremasco (1986), Cremasco, Rocha e Massarani (1991), Faria (1997) e Lima (1997). Por outro lado, estudos para avaliar a secagem de sementes de arroz neste tipo de secador são escassos.

Tendo em vista a necessidade de um secador que melhor opere com sementes e os estudos já realizados com secadores em leito de jorro, procuramos avaliar a possibilidade em se trabalhar com secagem de sementes de arroz em leito de jorro cônico, buscando atingir níveis maiores de qualidade física e fisiológica. Portanto, a partir disto, os objetivos do trabalho se concentram no estudo experimental da secagem de sementes de arroz em leito de jorro cônico com ciclos de resfriamento, e, avaliar a influência das variáveis: temperatura do ar de secagem, umidade inicial do material, carga úmida de sólidos e vazão, na qualidade final das sementes de arroz, quantificadas pelo índice de germinação e vigor, fissuras e quebras.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo foi dividido em duas partes em que a primeira trata dos aspectos relacionados à qualidade das sementes e a influência da secagem nas mesmas. A segunda parte abrange conceitos relacionados ao leito de jorro bem como estudos de secagem realizados nesse equipamento.

2.1 ASPECTOS MORFOLÓGICOS E FISIOLÓGICOS DA SEMENTE DE ARROZ

O arroz é uma planta anual, monocotiledônea, pertencente à família Gramineae, gênero *oryza* o qual possui cerca de vinte espécies, sendo a *Oryza sativa* a mais conhecida. É classificado como uma gramínia de sistema radicular fasciculado, caules redondos e ocos, folhas com limbo foliar plano e inflorescência em forma de panícula. *O crescimento e desenvolvimento* da planta de arroz é um processo fisiológico contínuo que compreende um ciclo completo desde a germinação até a maturação do grão (Ramos, 1985).

A planta possui ciclo de vida de 100 a 210 dias; no entanto, a maioria dos cultivares apresentam uma média de 110 a 150 dias. O seu crescimento compreende três etapas do desenvolvimento, que são facilmente identificáveis, pois assinalam mudanças fisiológicas e morfológicas de grande importância. Essas etapas são: vegetativa, reprodutiva e de maturação. A fase de maturação que se inicia após a floração e estende até à maturação completa, é identificada

por ser o período em que a semente atinge um determinado estágio no qual a qualidade fisiológica é máxima. Esse ponto de máxima qualidade fisiológica é entendido como o ponto em que a semente apresenta o máximo de germinação e de vigor, também chamado de ponto de maturidade fisiológica. Para sementes de arroz, geralmente a maturidade fisiológica é atingida quando a semente se encontra com umidade em torno de 35% (base úmida); porém, a colheita é feita quando as sementes apresentam-se com aproximadamente 25% a 21% (base úmida) de umidade. Em tecnologia de sementes, o estudo da maturação é feito com o objetivo de se determinar o ponto ideal de colheita, visando a produção e a qualidade das sementes (Carvalho e Nakagawa, 1979).

2.1.1 - A SEMENTE

Botanicamente a unidade de dispersão (grão) de arroz é um fruto, denominado cariopse; este contém a semente. A semente de arroz é um ovário maduro, fecundado, seco e indeiscente (Ramos et. al., 1985). Observando a Figura 2.1, distingue-se na semente: a casca, o eixo embrionário e o endosperma; cada parte apresentando funções específicas (Juliano, 1972).

A casca (cobertura protetora) é a estrutura externa que delimita a semente. É constituída pelo tegumento e pericarpo. Constitui-se basicamente de celulose, lignina, cinzas e de pequena porcentagem de proteína e matéria graxa. A casca apresenta funções importantes, tais como manter unidas as partes internas da semente, proteger tecidos de reserva contra choques e abrasões, servir de barreira à entrada de microrganismos e insetos, regular a velocidade de hidratação da semente e controlar a germinação, pelo mecanismo de dormência, em certas condições, para determinadas espécies.

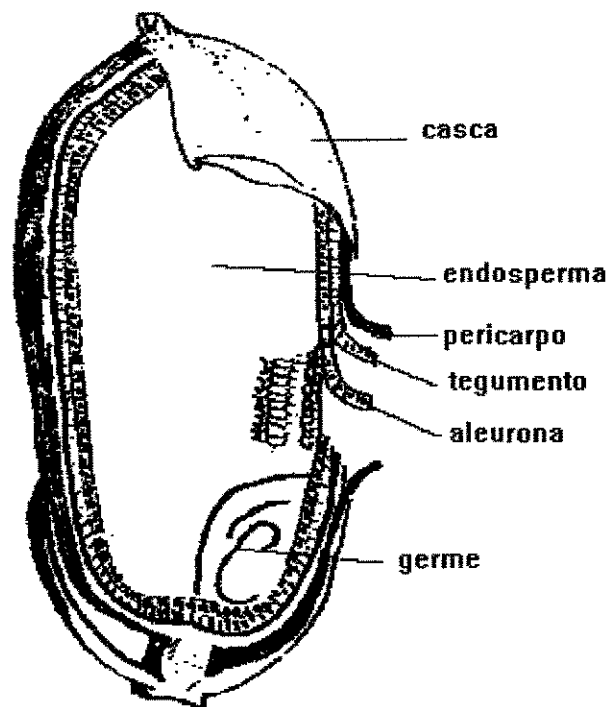


Figura 2.1 - Partes constituintes da semente de arroz (Juliano, 1972).

O eixo embrionário é a parte vital da semente. Constitui-se do germe ou embrião, aleurona e tegumento. O embrião possui alto conteúdo de proteína e matéria graxa; o aleurona e o tegumento que, como o pericarpo, também possui proteína, celulose e hemicelulose.

O endosperma é a camada mais interna, constitui-se basicamente (cerca de 90%) de amido, tecido de reserva das sementes. É graças às substâncias acumuladas nesse tecido que o eixo embrionário, por ocasião da germinação, consegue energia e material metabolizado para se desenvolver.

Os processos biológicos do crescimento exigem atividades metabólicas elevadas. Portanto, para que o processo germinativo ocorra, é necessário fornecer condições propícias à semente. Logo, a germinação é o reinício do

crescimento do embrião que havia sido paralizado nos estágios finais da maturação da semente, ainda na planta-mãe, (Ministério da Agricultura, 1981).

2.2 - QUALIDADE DAS SEMENTES

O emprego de sementes de boa qualidade é fator preponderante para obtenção de alta produtividade no campo. A qualidade de sementes é definida como o somatório de atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários que afetam a sua capacidade de originar plantas de alta produtividade (Camargo e Vechi, citados por Ramos, 1985).

Os atributos genéticos são definidos, segundo (Ramos et al., 1985), como sendo o potencial de produtividade, resistência à moléstias e insetos, entre outros. A qualidade física compreende a condição física da semente. A pureza física é caracterizada pela proporção de componentes físicos presentes, tais como: sementes de plantas daninhas, sementes de outras plantas cultivadas e substâncias inertes. A condição física é caracterizada pelo teor de umidade, tamanho, cor, densidade, injúrias mecânicas e/ou causadas por insetos e uniformidade quanto a essas características. Já os atributos fisiológicos das sementes de arroz, indicam a capacidade da semente de desempenhar funções vitais, sendo caracterizada pelo *poder germinativo*, *pelo vigor* e *pela longevidade*. Por fim, a qualidade sanitária das sementes compreende a condição da semente quanto à presença e grau de ocorrência de fungos, bactérias, vírus e insetos que causam doenças ou danos à semente. A qualidade sanitária está diretamente associada à secagem eficiente das sementes, pois, o teor de umidade adequado ao armazenamento afeta de maneira vital, no aparecimento de fungos, bactérias, vírus e insetos.

2.2.1 - FATORES QUE AFETAM A QUALIDADE DAS SEMENTES

Para que a qualidade da semente seja assegurada é necessário o conhecimento dos fatores que podem prejudicar seu crescimento e desenvolvimento no campo. Esses fatores são:

Condições ambientais

Condições ambientais são extremamente importantes em se tratando de sementes. Fatores ambientais como chuvas, temperatura, oxigênio e a luz, interferem num processo normal de germinação (Ramos et. al., 1985). As sementes de arroz são colhidas com teor de umidade ainda elevado (26% base úmida) e submetidas à secagem, ao invés de esperar atingir o nível adequado de umidade para um armazenamento seguro e sujeitar a lavoura ao risco de chuvas, que aliadas à temperaturas altas, aceleram a velocidade de deterioração das sementes. O elevado teor de umidade é a causa mais importante da perda do poder germinativo e do vigor das sementes (Tang e Sokhansanj, 1993).

Condições de armazenamento

Ao serem colocadas em condições de armazenamento, as sementes apresentam níveis variados de qualidade fisiológica em função do que aconteceu a elas em fases anteriores como na secagem e no beneficiamento.

A junção de alto teor de umidade da semente e do ambiente com temperatura e umidade relativa elevados são favoráveis a contaminação por fungos de armazenamento. Promovem rápida deterioração, tornando o produto

inaceitável para uso como semente e mesmo para consumo como alimento (Barrozo, 1995).

Ataque de insetos e microorganismos

Existe um grande número de insetos que atacam a cultura do arroz, muitos dos quais ocasionam danos severos às plantas, podendo comprometer até 25% da produção de sementes, causando prejuízos em diversas fases da cultura. De acordo com sua biologia, as "pragas" podem ser agrupadas em: de solo, da parte aérea e dos grãos armazenados. A planta de arroz pode sofrer ataques por uma série de "pragas" que agem no campo, ocasionando doenças e conseqüentemente afetando a qualidade das sementes. Exemplos de "pragas" que atacam as sementes de arroz são: lagarta militar (*Spodoptera frugiperda*), gorgulho do arroz (*Sitophilus oryzae*), etc.

Condições de beneficiamento

O beneficiamento envolve todas as operações de preparo das sementes pós-colheita, necessárias para se obter sementes aptas a comercialização. Consiste em debulhar, secar e separar as sementes pela eliminação das impurezas, das sementes estranhas presentes, entre outros, no sentido de obter uniformização dos lotes.

2.3 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS SEMENTES

Quando a produção de arroz se destina à sementes, logo após a colheita os grãos devem ser processados visando a qualidade, pureza e a padronização

do material colhido. Os testes que visam quantificar a qualidade física das sementes são os de fissuras no tegumento e danos mecânicos. A qualidade fisiológica é quantificada por intermédio de testes de germinação e posteriormente com testes de vigor, capazes de predizer a capacidade de desempenho (desenvolvimento) da semente no campo.

2.3.1 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICA DAS SEMENTES

A semente de arroz, ao contrário de outras sementes como, por exemplo, a soja, não se apresenta muito sensível à impactos de natureza mecânica, ou seja, os danos mecânicos que sofrem não influenciam fortemente seu poder germinativo e seu vigor. Isto devido a semente de arroz possuir tecido de reserva, o endosperma (classificada como uma albuminosa), que é um volumoso tecido endospermático constituindo-se num escudo ao embrião, (Carvalho e Nakagawa, 1979).

A injúria mecânica é consequência, na sua maior parte, da mecanização das atividades agrícolas. O conhecimento de como ela ocorre e dos fatores que interferem na sua intensidade, pode facilitar o seu controle. Uma semente pode sofrer perdas físicas desde a sua colheita, dependendo da colheitadeira utilizada, até seu armazenamento e transporte. Segundo Carvalho e Nakagawa 1979, o manejo das sementes é um dos principais fatores causadores das injúrias mecânicas.

Entende-se por injúrias mecânicas, o conjunto de danos causados devido à impactos de natureza mecânica, sendo caracterizado principalmente por fissuras que são pequenas trincas oriundas de uma ação mecânica interna à semente, originada por condições externas não-mecânicas. As fissuras

decorrentes de fatores genéticos ou mesmo de condições de secagem e de beneficiamento levam a semente fissurada até a sua quebra. A quebra na semente de arroz acontece dividindo o endosperma em duas ou mais partes. Caso o rompimento do endosperma em partes aconteça próximo ao eixo embrionário ou mesmo provoque algum dano ao embrião, a semente sofrerá grande perda na sua qualidade fisiológica.

A fissura e/ou a quebra da semente de arroz também dependem das condições ambientais e do processo as quais são submetidas. No presente trabalho é este o aspecto relevante, pois, iremos avaliar o efeito da operação de secagem na qualidade física e conseqüentemente na qualidade fisiológica das sementes de arroz.

As fissuras se desenvolvem durante readsorção de umidade pela semente relativamente seca, no campo ou após a colheita (Kunze e Hall, 1967; Chen e Kunze, 1983; Nguyen e Kunze, 1984).

Henderson (1958) trabalhando em nível laboratorial com a secagem de arroz em casca, em leito fixo, pode verificar:

- quanto maior a temperatura do ar de secagem, maior a porcentagem de grãos quebrados;
- as fissuras ocasionadas durante a secagem de arroz em casca não irão, necessariamente, causar a quebra do grão;
- o aumento da umidade relativa do ambiente, mantendo a mesma temperatura de secagem, eleva a porcentagem de grãos quebrados;
- o maior rendimento de grãos inteiros é obtido quando a secagem é feita com ar não aquecido ou aumentando o número de passos de secagem.

Lopes (1989) utilizando secador tipo bandeja, fez um estudo sobre o mecanismo de quebra de grãos de arroz avaliando os processos de transferência de umidade no grão de arroz por adsorção e dessorção; concluiu que a quebra do grão de arroz pode ser causada por dois motivos:

- diminuição da resistência mecânica do grão, ocasionada por alterações físico-químicas ou então pela existência de tensões internas que favoreçam a separação das partes;
- a existência de fissuras no interior do grão (semente) ocasionadas pelas condições ambientais, seria o mais importante causador da quebra.

A fissura surge quando tensões internas na semente de arroz ultrapassam a tensão de ruptura do material biológico. Essas tensões internas são devido as forças de tração e/ou compressão originadas de um gradiente interno de umidade e/ou gradiente interno de temperatura. A interação de forças internas com forças externas à semente também pode causar fissuras nas sementes.

Efeito do gradiente interno de temperatura:

O gradiente interno de temperatura é ocasionado quando a semente de arroz é submetida a ambientes com uma temperatura diferente da sua. A diferença entre a temperatura da semente e do meio externo pode causar tensões internas levando ao surgimento de fissuras na semente.

Das observações dos trabalhos de Kunze e Hall (1967), Arora et al. (1973), Chen e Kunze (1979), Lopes (1979), concluiu-se que o gradiente interno de temperatura só é relevante na formação de fissuras em grãos de arroz quando ocasionado por altas diferenças entre as temperaturas do ar de secagem e a do grão.

Influência do gradiente interno de umidade na qualidade da semente

O gradiente interno de umidade é ocasionado quando há diferença entre a pressão de vapor d'água, presente no interior da semente, e a do ambiente. O valor desse gradiente depende da diferença entre as pressões de vapor d'água

interna e externa à semente. A primeira, relaciona-se com o conteúdo inicial de umidade no sólido e a segunda com as propriedades termodinâmicas do ar úmido.

A facilidade com que a semente ganha ou perde água (taxa de adsorção ou dessorção) também influencia no gradiente interno de umidade (Lopes, 1989).

Brooker et al. (1982) sem citar o secador que utilizaram, afirmaram que a presença desse gradiente, do centro para a superfície conforme vai aumentando, implica no aparecimento de tensões que podem trincar o grão.

Num estudo sobre a operação de secagem de arroz em casca, em secadores de leito fixo tipo bandejas, Kunze (1977) observou que o processo de fissuramento dos grãos pode ser causado pela dessorção de umidade e que a readsorção tem efeito significativo e deve ser minimizada.

A semente de arroz é higroscópica e responde dinamicamente e fisicamente a mudanças de temperatura e de umidade no ambiente; entretanto, gradientes de umidade são mais responsáveis pelo aparecimento de fissuras que gradientes de temperatura (Kunze e Hall, 1967).

2.3.2 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FISIOLÓGICA DAS SEMENTES

Entende-se por qualidade fisiológica da semente, a capacidade da semente desempenhar funções vitais, caracterizada pela sua germinação e seu vigor. A germinação é o fenômeno pelo qual, em condições apropriadas o eixo

embrionário dá prosseguimento ao seu desenvolvimento. O vigor de sementes é uma condição fisiológica determinada pelo genótipo e modificada pelo ambiente, o qual indica a habilidade da semente para produzir plântulas rapidamente no solo e, além disso, de tolerar significativas variações das condições ambientais (Rocha et al., 1984).

Para que a semente de arroz germine, ela deve dispor de condições internas e externas adequadas. Dentre as condições externas, sem dúvida, a água é um dos fatores determinantes na influência sobre o processo de germinação. Da adsorção de água, resulta todas as atividades metabólicas da semente, porém, o teor de umidade da semente é um fator decisivo para se obter um armazenamento seguro.

A avaliação da qualidade fisiológica da semente é feita por testes padronizados e os resultados obtidos por diferentes laboratórios são consistentes, tornando-os de aceitação universal. O teste de germinação é utilizado para predizer a capacidade germinativa da semente. Contudo, o teste de germinação realizado em condições ambientais ótimas não são suficientes para avaliar a capacidade de desempenho da semente no campo, no qual as condições ambientais são variadas e nem sempre favoráveis. A partir dessa carência proveniente do teste de germinação, há a necessidade de determinação de outras variáveis relativas às qualidades fisiológicas das sementes. Portanto, instituiu-se o teste de vigor para se obter informações mais seguras sobre os atributos não revelados pelos testes de germinação.

O objetivo em realizar o teste de germinação consiste em obter informações sobre o valor das sementes para fins de semeadura e fornecer dados que possibilitem uma comparação entre diferentes lotes de sementes.

O teste que visa quantificar a qualidade fisiológica em termos de germinação é o teste padrão de germinação (TPG) que será descrito no Capítulo 3.

A germinação é considerada a partir da protrusão da radícula no tegumento da semente. Para que haja uma germinação normal é necessário que a semente seja de boa qualidade.

De acordo com as Regras de Análise de Sementes (Ministério da Agricultura, 1992), a uniformidade na avaliação de plântulas normais é assegurada quando estas estiverem de acordo com uma das seguintes condições:

- serem capazes de continuar seu desenvolvimento para dar formação a plantas normais, quando testadas em solo de boa qualidade, sob condições favoráveis de temperatura, umidade e luz;
- possuírem as seguintes estruturas essenciais, quando testadas em substratos artificiais:
 - 1 - um sistema radicular bem desenvolvido, no qual esteja presente uma raiz primária, ou pelo menos duas raízes seminais;
 - 2 - um hipocótilo bem desenvolvido e intacto, e/ou epicótilo sem apresentar lesão que atinja os tecidos condutores;
- plântulas que se apresentarem com as seguintes deficiências, desde que mostre em desenvolvimento vigoroso e equilibrado das outras estruturas essenciais:
 - 1 - plântulas com a raiz primária danificada, mas possuindo várias raízes secundárias, suficientemente longas e vigorosas para atender às necessidades das plantas no solo;

2 - plântulas com lesão ou dano superficial no hipocórito, epicótilo ou nos cotilédones, cuja área seja limitada e não afete os tecidos condutores;

- plântulas que tenham sido seriamente infeccionadas por fungos ou bactérias desde que seja perfeitamente evidenciado que a própria semente não foi a causa da infecção e que possa verificar que todas as estruturas essenciais estavam presentes.

Portanto, dependendo dessas características funcionais, uma semente pode ser qualificada quanto ao seu desenvolvimento embrionário e considerada como uma plântula normal no teste de germinação.

Os efeitos que o vigor das sementes têm sobre o comportamento da própria semente e o da planta resultante, é assunto que vem recebendo cada vez maior atenção por parte dos pesquisadores. Estuda-se cada vez mais as causas da perda de vigor, suas conseqüências e possíveis métodos de aumentá-lo.

Carvalho e Nakagawa (1979), num estudo sobre o efeito isolado da influência do vigor sobre a germinação de sementes de diversos cereais, inclusive arroz, concluíram que a queda do nível de vigor afeta a capacidade de germinação de uma semente de duas maneiras distintas:

- reduzindo a velocidade de germinação;
- aumentando a porcentagem de plântulas anormais, bem como o grau dessas anormalidades.

Vários testes de vigor vêm sendo elaborados. No presente trabalho optou-se pela realização do teste de envelhecimento acelerado (TEA), também descrito no Capítulo 3.

Para que um lote de sementes seja considerado de boa qualidade, é necessário que os testes de avaliação fisiológica indiquem valores dentro de um padrão mínimo estabelecido por órgãos oficiais competentes. No caso da semente de arroz, no Estado de São Paulo, as sementes são classificadas segundo densidade, forma e pureza (mínimo de 99%) e em seguida conforme índices de germinação e de vigor, os quais são estabelecidos num mínimo de 85% (Dados fornecidos pela Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo, 1997).

2.4 - INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DE SECAGEM NA QUALIDADE DAS SEMENTES

Após a colheita, as sementes são armazenadas. Antes porém, devem passar por processos de secagem, a qual é uma operação de fundamental importância no beneficiamento de sementes. A inadequação do processo de secagem pode acarretar na redução do poder germinativo e do vigor. Desta maneira, salienta-se a importância do estudo das condições de secagem.

Fazendo um estudo do processo de armazenamento de sementes de arroz e de milho, independentemente do tipo de secador utilizado, Mora e Echandi (1976), revelaram que é perfeitamente possível conservar sementes de arroz e de milho por pelo menos seis meses a 20°C, mesmo com conteúdos de umidade relativamente altos, como 13,5% (base úmida). Eles acrescentaram que uma boa conservação pode ser obtida a temperaturas do ambiente mais altas (30-35°C), desde que a umidade da semente seja suficientemente baixa (~10%, base úmida).

Ao elaborar um manual sobre produção de arroz para o Estado de Santa Catarina, Ramos et al. (1985), sem mencionar o tipo de secador que deve ser utilizado, afirmaram que a temperatura do ar de secagem de sementes de arroz não deveria ultrapassar de 40°C a 50°C, para evitar danos à qualidade fisiológica da semente, visto que a temperatura da semente não deveria ultrapassar a 35°C. Quando a secagem fosse intermitente, isto é, um aquecimento da massa de sementes, seguido de um período de repouso, a temperatura do ar de secagem não deveria ultrapassar a 45°C. Quando a secagem fosse realizada sem períodos de repouso, cuidados para que a temperatura do ar de secagem não ultrapassasse de 40°C deveriam ser tomados. No mesmo trabalho Ramos et al. (1985) citaram que a temperatura ótima do ambiente (campo ou estufa) para a germinação da semente de arroz está situada entre 30°C e 37°C. Abaixo de 10°C a 12°C e acima de 40°C a 42°C não haveria germinação.

Numa publicação feita pelo Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (1996), em que há recomendações técnicas para o Estado de São Paulo, é definido que a temperatura máxima a que grãos de arroz podem ser submetidos nos diferentes processos de secagem depende do seu destino: para semente, de 28 a 41°C para que os índices de germinação e vigor estejam dentro dos padrões estabelecidos por Lei, os quais são de 80% para germinação e para o vigor.

Kameoka et al. (1984), secaram grãos de arroz em leito empacotado a temperatura de 50°C e tempo de residência em torno de uma hora sem apresentar danos significativos para a qualidade do grão. Secadores que necessitam de longo período de tempo para redução da umidade são inviáveis para secagem de sementes.

Passos e Mujumdar (1989) apresentaram uma tabela com recomendações para secagem de milho, trigo e arroz em que indicam a temperatura de no máximo 43°C para o ar na secagem de arroz. Afirmaram ainda que, quando a semente é exposta a altas temperaturas durante duas ou mais horas de secagem, são desenvolvidos *stresses* internos resultando na quebra dos grãos.

Brooker et al.(1982) referindo-se à secagem típica de sementes, feitas em silos armazenadores ou em terreiros sob ação do sol, aconselham que a semente de arroz, durante o processo de secagem, não ultrapasse a temperatura de 35°C a fim de não ocorrer perdas na qualidade fisiológica da semente.

Shephard et al. (1995) secaram sementes de arroz provenientes da colheita com 25 e 17% de umidade (base úmida), sob a ação do sol. O método de secagem utilizado não apresentou nenhuma influência sobre a germinação e o vigor da semente, entretanto, o processo de germinação foi reduzido quando as sementes foram colhidas com umidade em torno de 25% (base úmida).

2.5 - SECADOR EM LEITO DE JORRO

O leito de jorro foi originalmente concebido e considerado uma versão modificada do leito fluidizado, para tratamento com partículas grossas ($d_p > 1\text{mm}$). O leito de jorro mostra características especiais quando usado operações cíclicas em partículas sólidas que não podem ser executadas em leito fluidizado.

O leito de jorro cônico-cilíndrico é formado de um vaso cilíndrico de base tronco-cônica com um orifício para entrada do fluido localizado na extremidade da base, conforme ilustrado na Figura 2.2.

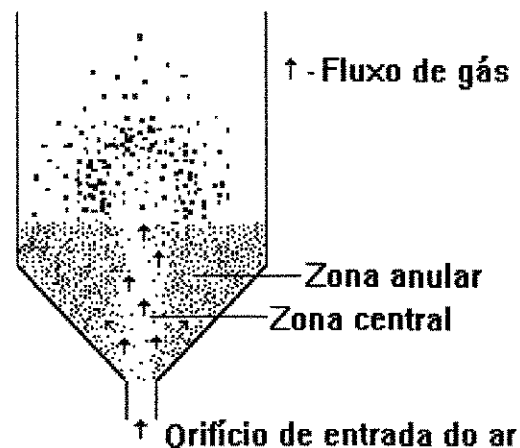


Figura 2.2 - Movimento das partículas em leito de jorro.

O leito de jorro é formado pela injeção vertical de fluido por meio de um orifício situado na extremidade inferior do leito através do leito de partículas sólidas. Se a injeção do fluido é alta o suficiente, resulta em jatos de alta velocidade que causam o jorro de partículas que aumenta rapidamente na cavidade central dentro do leito de sólidos. Essas partículas, depois de estarem acima do nível periférico do leito, voltam a cair na região anular entre a cavidade central e a parede da coluna. Todo o leito desse modo, torna-se composto de uma fase central diluída com movimento ascendente de sólidos entrando por um escoamento concorrente de fluido, e uma região anular densa com percolação contracorrente de fluido. Um modelo cíclico sistemático de movimento de sólidos é então estabelecido, dando origem a um sistema fluidodinâmico único.

2.5.1 - MECANISMO

O mecanismo de transição de um leito estático para um jorro é melhor descrito com referência ao gráfico da queda de pressão do leito em relação a velocidade superficial do fluido (Figura 2.3).

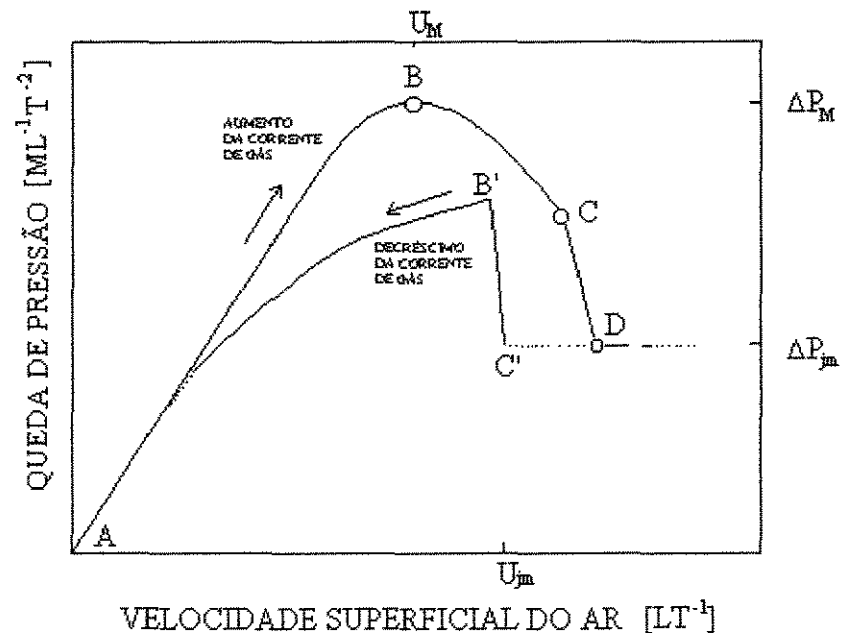


Figura 2.3 - Curva característica de um leito de jorro cônico, Mathur e Epstein (1974).

A seguinte seqüência de eventos é observada conforme a corrente de gás é aumentada:

No início, quando a vazão do gás ainda é pequena, esta provoca pequena perturbação nas partículas, comportando-se como um leito estático. A queda de pressão é crescente ao longo de AB.

A um certo valor do fluxo de gás, a velocidade do jato torna-se o suficiente para deslocar os sólidos, formando assim uma cavidade. As

partículas ao redor da cavidade são comprimidas contra o material que está acima, formando um arco compacto o qual oferece uma maior resistência à corrente de gás. A cavidade dá origem ao jorro interno, a queda de pressão total continua a aumentar até atingir seu valor máximo (ΔP_M) no ponto B. A velocidade superficial neste ponto é denotada por U_M .

Como a corrente de gás está aumentando além do ponto B, a altura do jorro interno torna-se grande em comparação com os sólidos empacotados. A queda de pressão decresce ao longo de BC.

Com um leve aumento na vazão do fluido além do ponto C, o qual é chamado jorro incipiente, há ruptura do jorro interno através da superfície do leito. Quando isso acontece, a concentração de sólidos na região imediatamente acima do jorro interno decresce abruptamente, causando uma redução na queda de pressão até o ponto D, no qual todo o leito torna-se móvel e estável.

Um novo aumento na vazão de fluido, a adição de gás simplesmente passa através da região de jorro, estabelecendo um percurso de menor resistência e a queda de pressão (ΔP_{jm}) além do ponto D permanece constante.

A velocidade do jorro incipiente (C) e do jorro estável (D), sendo dependentes do leito, não são exatamente reproduzíveis. A velocidade de jorro mínimo (U_{jm}) é obtida pelo decréscimo lento da corrente do gás; o leito então permanece em estado de jorro até o ponto C', o qual representa a mínima condição de jorro. Uma leve redução da velocidade do gás nessas condições causa o colapso do jorro e a queda de pressão aumenta repentinamente até o ponto B'. Diminuindo a vazão do gás, observa-se o decréscimo da queda de pressão ao longo de B'A.

Encontram-se na literatura, conforme indicado por Mathur e Epstein (1972), diversas correlações para determinação da ΔP_M , ΔP_{jm} , Q_{jm} , U_{jm}

2.6 - SECAGEM EM LEITO DE JORRO CÔNICO

Mathur e Gishler (1955) aplicaram a técnica do leito de jorro à secagem de grãos de trigo, concluindo que poderiam utilizar temperatura do gás de secagem superior às dos secadores convencionais sem que os grãos fossem danificados.

Em face aos estudos realizados por Mathur e Gishler, Peterson (1962) trabalhando com secagem contínua de ervilhas, lentilhas e sementes oleaginosas em leito de jorro de configuração cilíndrica, reuniu resultados obtidos em unidades comerciais e de laboratório, e chegou a expressões empíricas para a temperatura do grão na descarga do secador e para a taxa de secagem. No mesmo trabalho, esse autor realizou testes de germinação em sementes de ervilha e concluiu que as sementes podiam ser submetidas à secagem seguramente com temperaturas da semente em torno de 45°C e temperatura do ar de secagem por volta de 56 °C num período de tempo curto.

No projeto de unidades industriais para secagem contínua de arroz em casca, Canesin (1981) concluiu que o leito de jorro conduz a instalações bem mais simples e compactas que os sistemas tradicionais de secagem de arroz.

A temperatura do grão de arroz, segundo Canesin e Massarani (1984) pode ser acrescida para 55°C sem que haja quebra apreciável para tempo de residência do grão no secador em leito de jorro cônico em torno de 15

minutos; ou seja, só é possível elevar a temperatura do grão a um valor máximo se o tempo de residência for o menor possível.

Trabalhando com unidade piloto nas configurações convencional e não-convencional do leito de jorro para a secagem de soja e arroz em casca, Barrozo (1985) obteve resultados que lhe permitiram fazer extrapolações visando o projeto de unidades de demonstração e de unidades industriais.

Cremasco (1986) trabalhando com uma unidade cônica, secou grãos de arroz em casca, em batelada e analisou a fluidodinâmica e a secagem nos leitos com e sem tubo interno. Chegou em expressões para o cálculo da vazão de jorro e queda de pressão em jorro estável.

$$Q_{jm} = 0,43H^{0,5} \quad (2.1)$$

sendo: H= altura do leito de sólidos, em cm e Q_{jm} em m^3/min .

$$\Delta P = 0,22(1 - \varepsilon_{mf})(\rho_s - \rho)gH \quad (2.2)$$

Observou ainda que a redução da umidade obedecia a seguinte equação:

$$\frac{U}{U_o} = e^{-\alpha t} \quad (2.3)$$

E a evolução da temperatura do grão poderia ser expressa conforme a equação:

$$\frac{T - T_s}{T - T_{s0}} = e^{-\beta t} \quad (2.4)$$

A partir do estudo realizado por Cremasco (1986), outros pesquisadores, trabalhando com secagem de arroz, obtiveram expressões para o cálculo da constante cinética de secagem (α). As correlações obtidas por esses autores estão resumidas nas Tabelas 2.1 e 2.2.

2.7 - INFLUÊNCIA DA SECAGEM EM LEITO DE JORRO CÔNICO NA QUALIDADE FÍSICA DO PRODUTO

Faria (1997) estudando a secagem de arroz em casca em leito de jorro cônico constatou que o rendimento de grãos inteiros mantinha praticamente o mesmo percentual de quebra encontrado no início da secagem. Constatou também a existência da tendência de quebra após um determinado tempo de armazenamento que varia de acordo com as condições operacionais da secagem.

Numa análise das Figuras 2.4 e 2.5, apresentadas por Faria (1997), vemos que nos primeiros instantes da operação, os gradientes de umidade e temperatura internos ao grão seriam irrelevantes devido a etapa constante de secagem, caracterizada pela remoção da umidade superficial. Alterando-se as condições de secagem, como o aumento a temperatura do ar de secagem ou a diminuição da carga umida de sólidos, há uma elevação da cinética de secagem, ocorrendo retirada abrupta de umidade, potencializando as tensões internas. As Figuras (a) referem-se ao período de secagem, enquanto as (b) referem-se ao período pós-secagem ou armazenamento.

Tabela 2.1 - Redução da umidade do grão em leito de jorro cônico.

Pesquisador	Correlações	OBS
Cremasco (1986)	$\alpha = 1,45(a + bW_0 + cT + dW_0)\left(e + f\frac{Q}{Q_{jm}}\right)10^{-02} \quad (2.5)$ <p> $a=-2,57;$ $b=0,068;$ $c=0,049;$ $d=-0,00115;$ $e=0,234;$ $f=0,31$ </p>	<p>Secagem de arroz em casca em unidade cônica, sem utilização de tubo interno.</p> <p>Umidade regenerada</p> <p>Faixa de Aplicação: $10\text{kg} < W_0 < 30\text{kg};$ $80^\circ\text{C} < T < 110^\circ\text{C}$ </p>
Cremasco, Rocha e Massarani (1991)	$\alpha = 0,2109\left(\frac{Q}{Q_{jm}}\right)^{0,617}\left(\frac{L_b}{D_t}\right)^{0,7620}(K_0)^{-0,4580}(M_S)^{0,4725} \quad (2.6)$ <p>sendo: $K_0 = \frac{\lambda_{\text{vap}} m_0}{[Cp_S(T_S - T_{S0})]}$; $M_S = \frac{(d_H^3 \rho_S)}{W_0}$,</p> <p>uma relação entre as características físicas da partícula com a carga úmida de sólidos.</p>	<p>Secagem em batelada de arroz em casca e milho em unidade com tubo interno.</p> <p>Umidade Regenerada</p> <p>Faixa de Aplicação: $10\text{kg} < W_0 < 30\text{kg};$ $80^\circ\text{C} < T < 110^\circ\text{C}$ </p>
Faria (1997)	$\alpha = 14,486\left(\frac{Q}{Q_{jm}}\right)^{0,356}(K_0)^{-0,539}(M_S)^{0,934} \quad (2.7)$	<p>Secagem de arroz em casca proveniente do campo.</p> <p>Faixa de Aplicação: $10\text{kg} < W_0 < 30\text{kg};$ $83^\circ\text{C} < T < 110^\circ\text{C};$ $1,2 < Q/Q_{jm} < 2,7;$ $0,21 < U_0 < 0,27$ </p>
Lima (1997)	$\alpha = 5,491\left(\frac{Q}{Q_{jm}}\right)^{1,574}\left(\frac{L_b}{D_t}\right)^{0,628}(K_0)^{-0,417} \quad (2.8)$	<p>Secagem de arroz em casca com utilização de tubo interno.</p> <p>Faixa de Aplicação: $W_0=20\text{kg};$ $90^\circ\text{C} < T < 110^\circ\text{C};$ $1,2 < Q/Q_{jm} < 2,7;$ </p>

Tabela 2.2 - Evolução da Temperatura dos grãos em leito de jorro cônico.

Pesquisador	Correlações	OBS
Cremasco (1986)	$\beta = 1,78(a + bT)(c + dW_0)\left(e + f\frac{Q}{Q_{jm}}\right)10^{-03} \quad (2.9)$ $a=-0,26; \quad b=0,016; \quad c=28,62;$ $d=-0,36; \quad e=0,077; \quad f=0,38$	<p>Secagem de arroz em casca em unidade cônica, sem utilização de tubo interno.</p> <p>Umidade Regenerada.</p> <p>Faixa de Aplicação: $10\text{kg} < W_0 < 30\text{kg}; \quad 80^\circ\text{C} < T < 110^\circ\text{C}$</p>
Cremasco, Rocha e Massarani (1991)	$\beta = 0,6755\left(\frac{Q}{Q_{jm}}\right)^{0,4910}\left(\frac{L_b}{D_t}\right)^{0,1560}(K_0)^{-0,2685}(M_S)^{0,5702} \quad (2.10)$	<p>Secagem em batelada de arroz em casca e milho em unidade com tubo interno.</p> <p>Umidade Regenerada.</p> <p>Faixa de Aplicação: $10\text{kg} < W_0 < 30\text{kg}; \quad 80^\circ\text{C} < T < 110^\circ\text{C}$</p>
Faria (1997)	$\beta = 5,425\left(\frac{Q}{Q_{jm}}\right)^{0,293}(K_0)^{-0,463}(M_S)^{0,761} \quad (2.11)$	<p>Secagem de arroz em casca proveniente do campo.</p> <p>Faixa de Aplicação: $10\text{kg} < W_0 < 30\text{kg}; \quad 83^\circ\text{C} < T < 110^\circ\text{C};$</p>

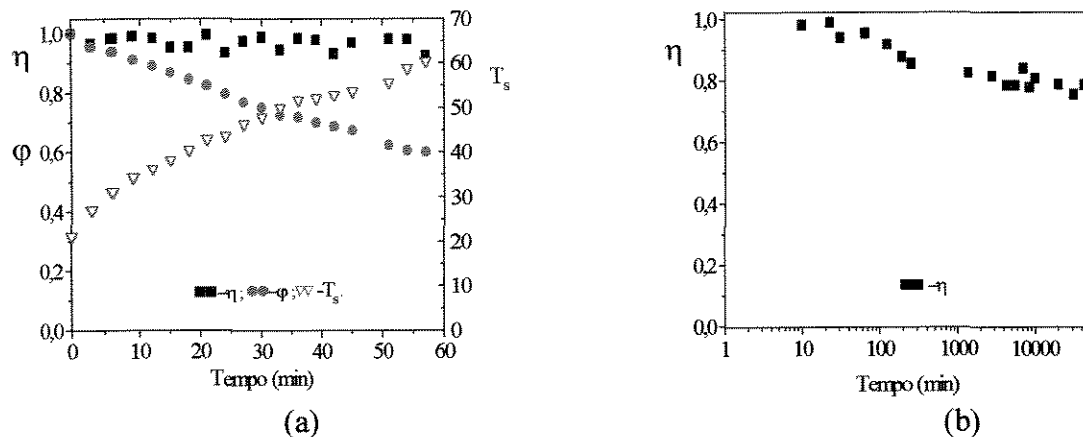
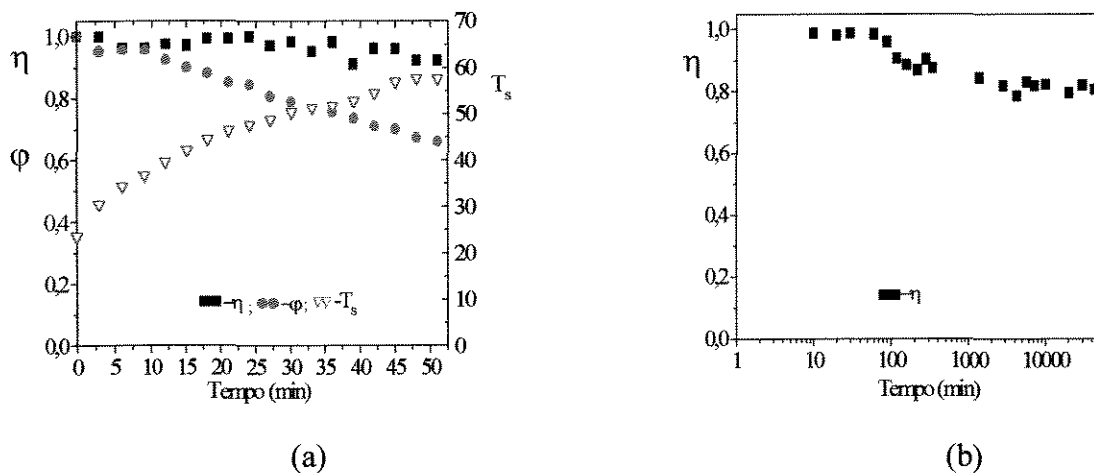


Figura 2.4 - Ensaio Experimental realizado nas seguintes condições de operação:
 $T = 95^\circ\text{C}$; $U_o = 0,27$; $W_o = 20 \text{ kg}$; $Q/Q_{jm} = 1,21$; $\omega_0 = 0,901$; Faria (1997).



Figuras 2.5 - Ensaio experimental realizado nas seguintes condições de operação:
 $T = 95^\circ\text{C}$; $U_o = 0,27$; $W_o = 30 \text{ kg}$; $Q/Q_{jm} = 2,74$; $\omega_0 = 0,905$
 Arroz em casca oriundo da colheita, Faria (1997).

Faria (1997) observou também que quanto menor a carga úmida de sólidos, maior a tendência de aumentar o percentual de quebra dos grãos, bem como o fato do aumento da temperatura do ar de secagem acarreta a diminuição do rendimento de grãos inteiros, Figura 2.6.

O autor propôs a seguinte correlação para o rendimento final de grãos inteiros (ω_f), obtidos após uma semana de armazenamento, a partir do qual não se constatou variação na quebra dos grãos:

$$\omega_f = \frac{0,536}{\alpha^{0,076}} \quad (2.12)$$

em que α é dado pela equação 2.8 e o rendimento é dado por:

$$\omega = \frac{\text{massa de grãos inteiros apos o beneficiamento}}{\text{massa total de grãos apos o beneficiamento}} \quad (2.13)$$

mostrando que o rendimento final de grãos inteiros é governado pelas condições de operação do secador.

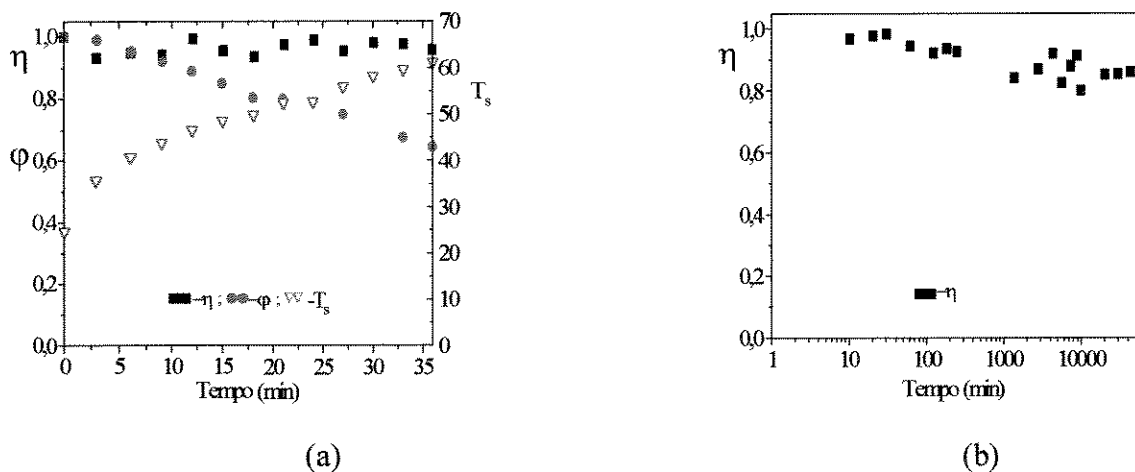


Figura 2.6 - Ensaio experimental realizado nas seguintes condições de operação:
 $T = 110^\circ\text{C}$; $U_0 = 0,27$; $W_0 = 20 \text{ kg}$; $Q/Q_{jm} = 1,23$; $\omega_0 = 0,930$; Faria (1997).

2.8-SECAGEM COM UTILIZAÇÃO DE CICLOS DE RESFRIAMENTO

O ciclo de resfriamento é uma técnica alternativa proposta para remover adequadamente a umidade da semente. Consiste basicamente em reduzir a temperatura do ar de secagem quando a temperatura das sementes ou grãos se

aproxima da temperatura limite de degradação. Deve ficar claro de que a redução da temperatura do ar de secagem acontece com o equipamento em operação, ao contrário de quando se trata de período de repouso, em que o material utilizado é retirado do secador por um período de tempo determinado.

Na literatura encontra-se uma gama de trabalhos desenvolvidos utilizando períodos de repouso. Sabbah et al. (1972), Benny e Ngnin (1978), Calderwood e Weeb (1971), entre outros, estudaram com afinco a utilização do recurso de sujeitar cereais a um período de repouso bem como sua influência na qualidade dos diversos produtos como arroz e milho.

Em se tratando da utilização de ciclos de resfriamento, Lima (1997), estudou a secagem de grãos de arroz em leito de jorro cônico com e sem tubo interno com utilização de ciclos de resfriamento. Constatou que o uso do tubo reduz a taxa de secagem, comprometendo o desempenho do secador e que o número de ciclos, bem como o tempo de resfriamento influenciam significativamente o percentual de grãos inteiros, ou seja, ocorre um aumento significativo das injúrias mecânicas. Numa análise das Figuras 2.7 e 2.8 apresentadas por esse autor, em que nos gráficos (a) tem-se o rendimento de grãos inteiros durante a secagem e nos gráficos (b) durante o período de estocagem, é possível perceber que as secagens feitas com a adoção dos ciclos de resfriamento com intervalos de tempo mais curtos obtiveram rendimento final de grãos inteiros maior. Conclui-se que quanto maior o intervalo de tempo dos ciclos de resfriamento, maiores seriam os gradientes de temperatura e de umidade no interior do grão.

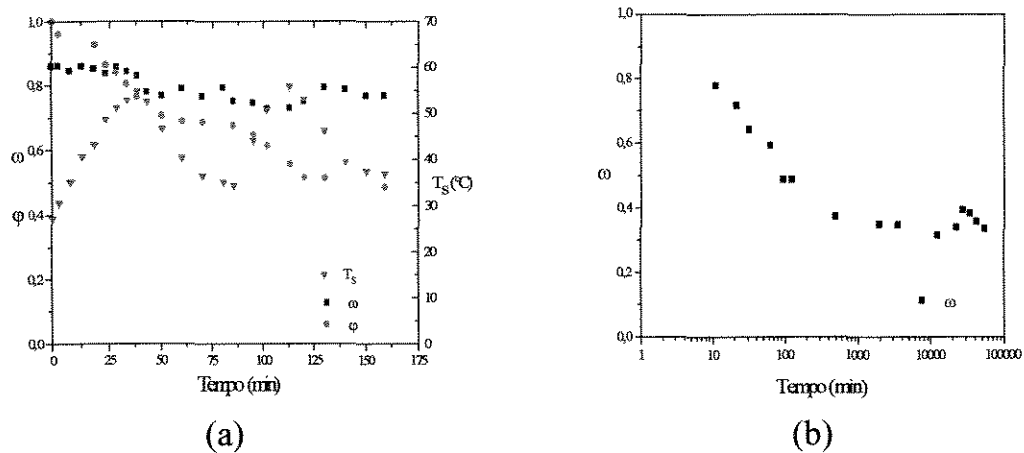


Figura 2.7 - Curvas de variação do rendimento de grãos inteiros, redução da umidade e temperatura dos grãos nas seguintes condições de operação:

$T = 90^\circ\text{C}$; $U_o = 0,23$; $W_o = 20 \text{ kg}$; $Q/Q_{jm} = 1,17$; $L_b = 14 \text{ cm}$ e $D_t = 7,62 \text{ cm}$.

Intervalo de tempo para resfriamento: 45 min e $n = 2$; Lima (1997).

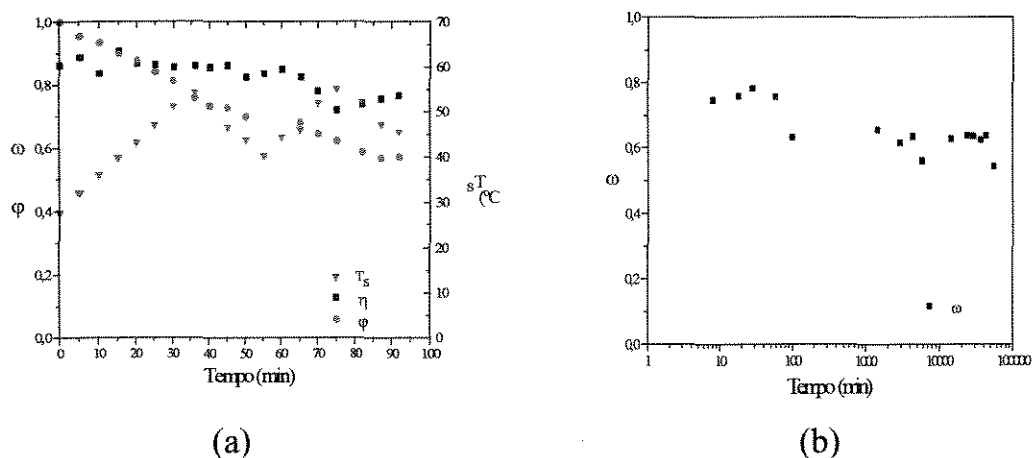


Figura 2.8 - Curvas de variação do rendimento de grãos inteiros, redução da umidade e temperatura dos grãos nas seguintes condições de operação:

$T = 90^\circ\text{C}$; $U_o = 0,25$; $W_o = 20 \text{ kg}$; $Q/Q_{jm} = 1,35$; $L_b = 14 \text{ cm}$ e $D_t = 7,62 \text{ cm}$.

Intervalo de tempo para resfriamento: 15 minutos e $n = 2$; Lima (1997).

Verificando que a redução de umidade obedecia a Equação 2.3, Lima (1997), propôs a seguinte formulação para a constante cinética de secagem.

$$\alpha = \alpha_0 + n\alpha_c \quad (2.14)$$

em que

α = constante cinética de secagem global;

α_0 =constante cinética de secagem para o período do primeiro aquecimento dos grãos;

α_c = constante de cinética de secagem a partir do período do primeiro resfriamento dos grãos.

n = número de ciclos de resfriamento.

$$\alpha_0 = 0,008 \left(\frac{Q}{Q_{jm}} \right)^{1,574} (K_0)^{-0,417} \quad (2.15)$$

$$\alpha_c = 0,08 \left(\frac{Q}{Q_{jm}} \right)^{0,657} (K_0)^{-0,391} \left(\frac{t_c}{t_{s0}} \right)^{0,083} \quad (2.16)$$

No mesmo trabalho, Lima (1997), após uma semana de armazenamento, quando a quebra dos grãos passava a ser constante, obteve a seguinte correlação para o rendimento de grãos inteiros:

$$\omega_f = \frac{0,39}{\alpha^{0,18} \beta^{0,03}} \quad (2.17)$$

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho objetiva avaliar experimentalmente a cinética de secagem e a qualidade da semente de arroz em função do seu poder germinativo e seu vigor durante e após a operação de secagem, bem como a qualidade física em termos de injúrias mecânicas. Para tanto, apoiou-se nos estudos anteriores desenvolvidos por Faria (1997) e Lima (1997), no Laboratório de Processos em Meios Porosos, com grão de arroz proveniente de colheita, sendo este o terceiro trabalho realizado no referido laboratório da Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP. A seguir será apresentado a metodologia experimental e posteriormente, a discussão dos resultados obtidos.

3.1 - MATERIAL UTILIZADO

Foi estudada a variedade de semente de arroz, IAC - 101, proveniente da Estação Experimental de Pindamonhangaba do Instituto Agrônomo de Campinas. As sementes oriundas da colheita apresentavam, em média, com 25% a 26% (base úmida) de umidade.

O cultivar IAC 101 tem como característica de destaque seu elevado potencial produtivo, principalmente sua estabilidade de produção nos diversos tipos de solo. Apresenta como desvantagem elevada espessura dos grãos

polidos, sendo classificado como tipo longo fino. As sementes da variedade IAC - 101 são recomendadas para plantio no Estado de São Paulo em várzeas sistematizadas e irrigadas por inundação. Informações sobre condições de colheita não foram disponíveis.

As características físicas da semente em casca encontram-se na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Propriedades Físicas das Sementes de arroz.

Propriedades	d_p (cm)	ρ_s (g/cm ³)	ϕ	C_p (cal/g.°C)
Valor	0,353	1,144	0,83	0,43

A massa específica (ρ_s) da semente foi obtida por picnometria. Esse método permite determinar a massa específica a partir do deslocamento de volume de um fluido, causado pela adição de uma massa de sólido. O diâmetro (d_p) e a esfericidade (ϕ) das sementes foram determinados considerando o arroz como um esferóide prolato, cujo volume corresponde a de uma esfera de igual diâmetro. A capacidade calorífica (C_p) foi extraída do trabalho de Passos et. al. (1989).

Os experimentos foram realizados no período de março e abril de 1997, com sementes de arroz provenientes da colheita na Região do Vale do Paraíba, no Estado de São Paulo.

Após o recebimento do material, as sementes foram submetidas ao peneiramento manual a fim de eliminar impurezas grosseiras como materiais inertes (palhas, ervas daninhas, torrões e poeira), provenientes da colheita.

3.2 - EQUIPAMENTOS

Nesta seção será apresentado uma descrição detalhada dos equipamentos utilizados na operação de secagem, bem como os equipamentos usados nos testes de avaliação fisiológica das sementes.

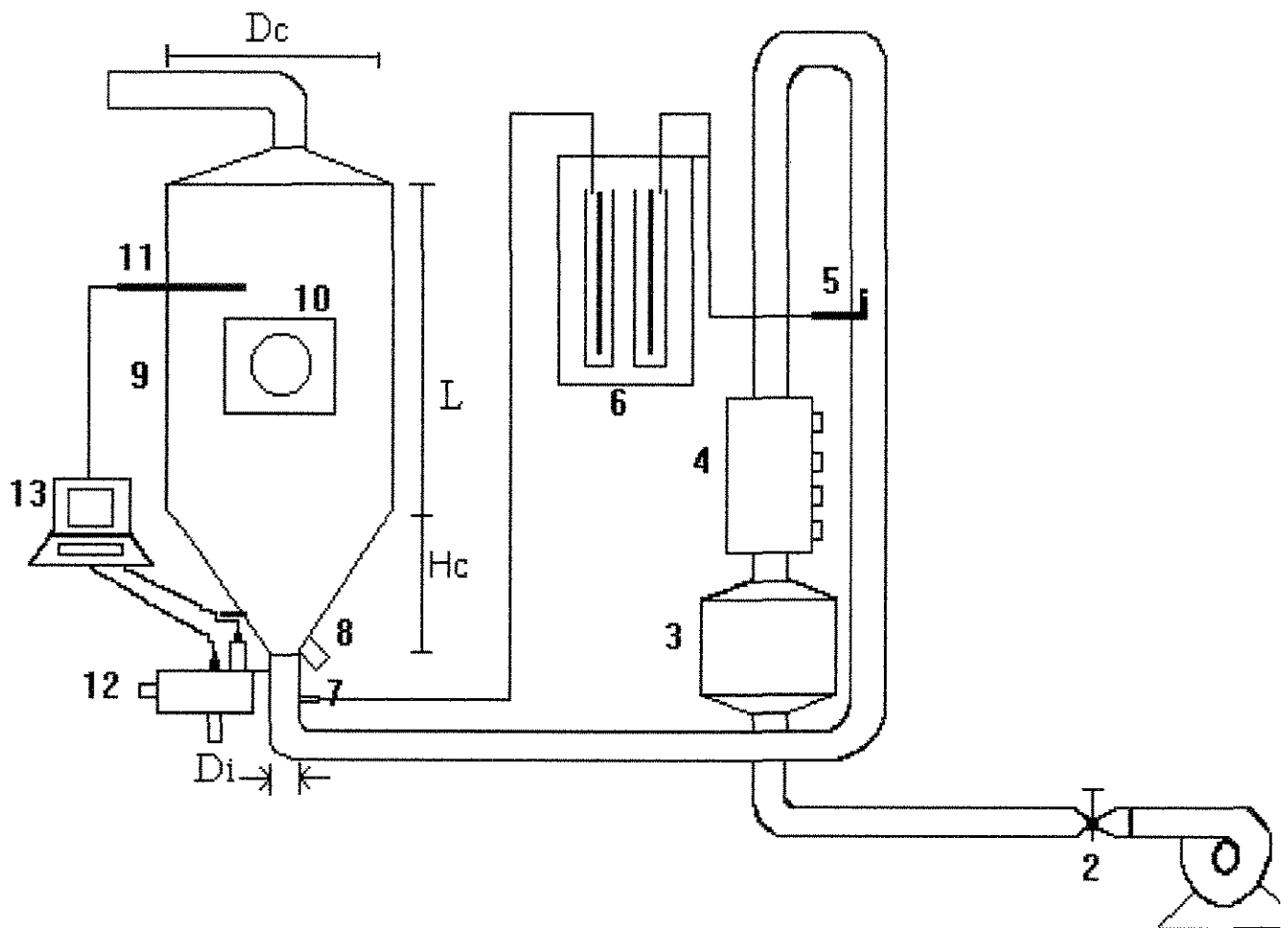
3.2.1 - SECADOR EM LEITO DE JORRO CÔNICO

O equipamento experimental utilizado para a secagem das sementes, é análogo ao utilizado por Faria (1997) e Lima (1997), no Laboratório de Processos em Meios Porosos da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), o qual se encontra esquematizado na Figura 3.1.

O sistema constitui-se de um soprador turbo ventilador de 7,5cv de potência, um resfriador do tipo turbo-carcaça que utiliza água como fluido refrigerante e um aquecedor elétrico com quatro resistências e um leito secador.

O leito é uma coluna cone-cilíndrica construída em folhas-de-flandres de 0,5mm de espessura e reforçada com vergalhão de ferro. Tanto o leito de jorro quanto a linha de alimentação de ar foram isolados termicamente com lã de rocha e alumínio corrugado.

A instalação também possuía um Tubo de Pitot ligado a um manômetro diferencial em “U” para medir a velocidade de entrada do ar. Este tubo foi previamente calibrado no Laboratório do Departamento de Energia da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, num túnel de vento Plint & Partners.



- | | |
|---------------------------------------|---|
| 1 - Soprador de ar; | 10 - Abertura para coleta de amostras e visualização; |
| 2 - Válvula reguladora de vaz | 11 - Termopar; |
| 3 - Resfriador; | 12 - Psicrômetro de dupla mecha; |
| 4 - Aquecedor elétrico; | 13 - Aquisidor de dados; |
| 5 - Tubo de Pitot; | D_c - 62,60 cm; |
| 6 - Manômetro diferencial em "U"; | L - 99,00 cm; |
| 7 - Tomada de pressão; | H_c - 45,00 cm; |
| 8 - Tubo de descarga de sementes; | ângula (α) - 60° |
| 9 - Secador em leito de jorro cônico; | |

Figura 3.1 - Esquema da unidade de secagem em leito de jorro cônico.

(não se encontra em escala)

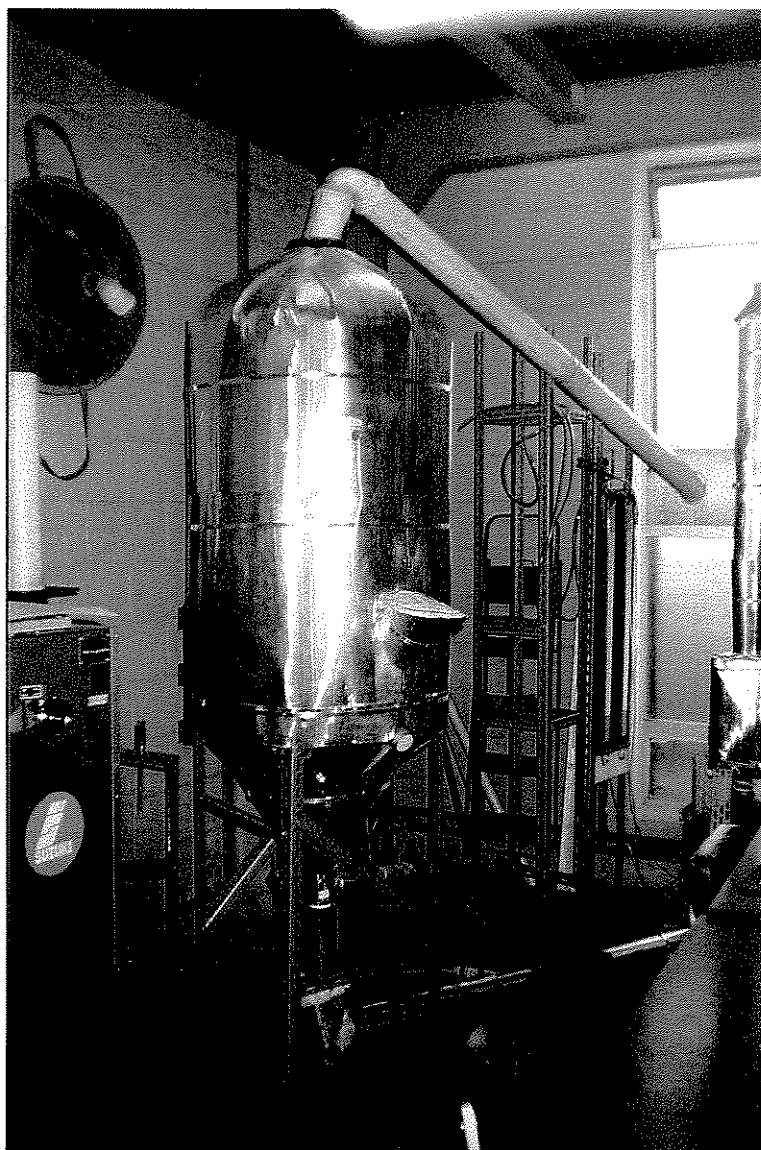
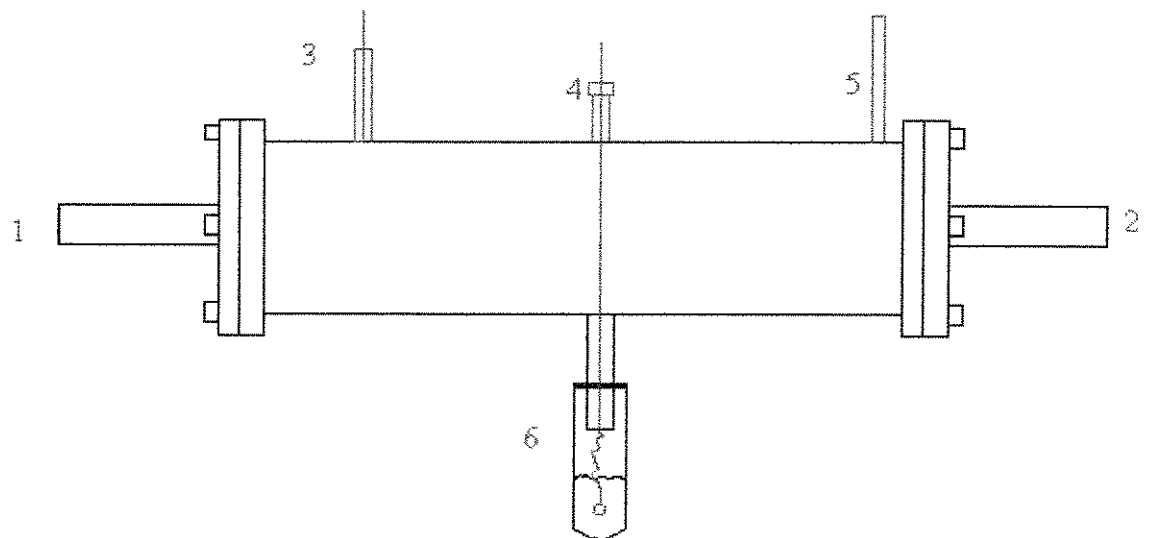


Figura 3.2 - Detalhe fotográfico da unidade de secagem em leito de jorro cônico

Um psicrômetro de dupla mecha, constituído de tubo interno com dois termopares foi utilizado para medidas de temperatura de bulbo úmido e bulbo seco, conforme está ilustrado na Figura 3.3. Neste psicrômetro os termopares eram do tipo J.



- 1 - entrada do ar de secagem
- 2 - saída do ar de secagem
- 3 - termopar medidor da temperatura de bulbo seco
- 4 - termopar medidor da temperatura de bulbo úmido
- 5 - entrada auxiliar de água para o termopar de bulbo úmido
- 6 - recipiente com água e mecha para umidificação do termopar de bulbo úmido

Figura 3.3 - Psicrômetro de dupla mecha.

Termopares instalados na entrada e saída do resfriador e entrada do leite, auxiliavam o controle de temperatura do ar de secagem e foram ligados a um microcomputador com um software aquisidor de dados AQDADOS LYNX CAD 12/32.



Figura 3.4 - Detalhe Fotográfico do Aquisidor de Dados.

Cabe ressaltar que o aquecedor elétrico, parte integrante da linha não foi utilizado porque os experimentos com sementes de arroz exigem o uso de temperaturas mais amenas para o ar de secagem (abaixo de 60°C), logo, faz-se uso de um equipamento capaz de atuar no controle dessa temperatura, bem como no controle da temperatura de resfriamento. Para tanto, instalou-se um resfriador na linha de montagem, Figura 3.5.

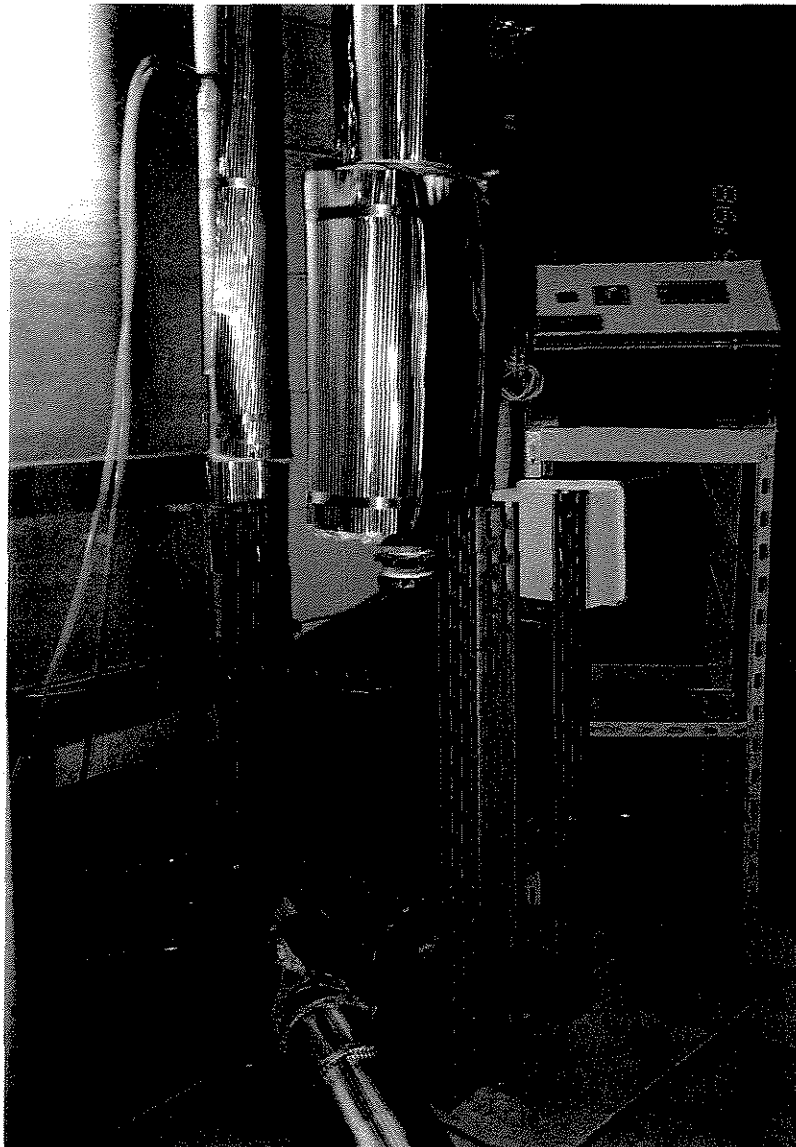
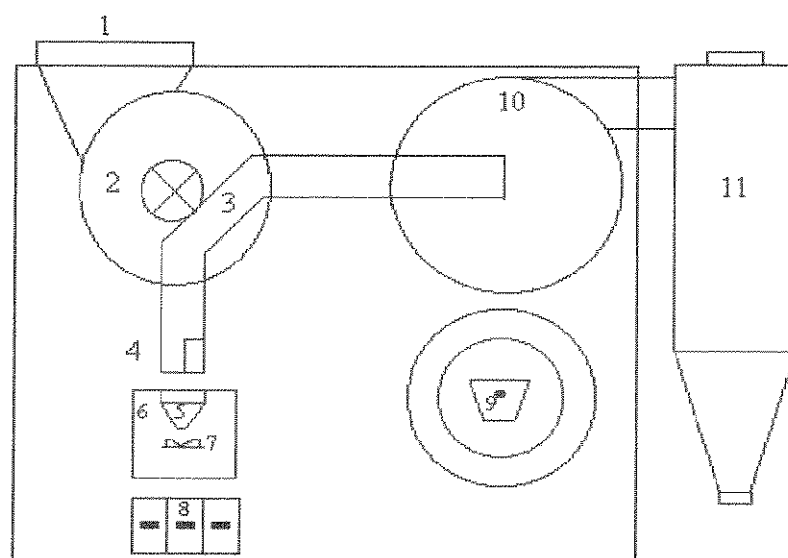


Figura 3.5 - Detalhe Fotográfico do Resfriador.

3. 2. 2 - MÁQUINA BENEFICIADORA DE ARROZ

Um engenho da marca SUZUKI de 0,5 HP de potência, constituído de descascador, brunidor, ciclone e um separador de grãos inteiros, ilustrado na Figura 3.6, foi utilizado para avaliação da qualidade física das sementes. A máquina testadora de arroz encontra-se no Laboratório de Processos em Meios Porosos na Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP.

A máquina testadora foi utilizada para descascar as sementes e assim poder ser feita a visualização de fissuras e, foi realizada a separação de sementes quebradas e inteiras para computar os danos mecânicos causados à semente de arroz.



- | | |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1 - moega de alimentação; | 7 - registro de descarga do arroz; |
| 2 - descascador; | 8 - canecas de arroz e farelo; |
| 3 - câmara de aspiração; | 9 - classificador <i>trieur</i> ; |
| 4 - saída do arroz descascado; | 10 - ventilador; |
| 5 - moega de alimentação do brunidor; | 11 - ciclone coletor de casca. |
| 6 - caixa do brunidor | |

Figura 3.6 - Máquina testadora da marca SUZUKI.

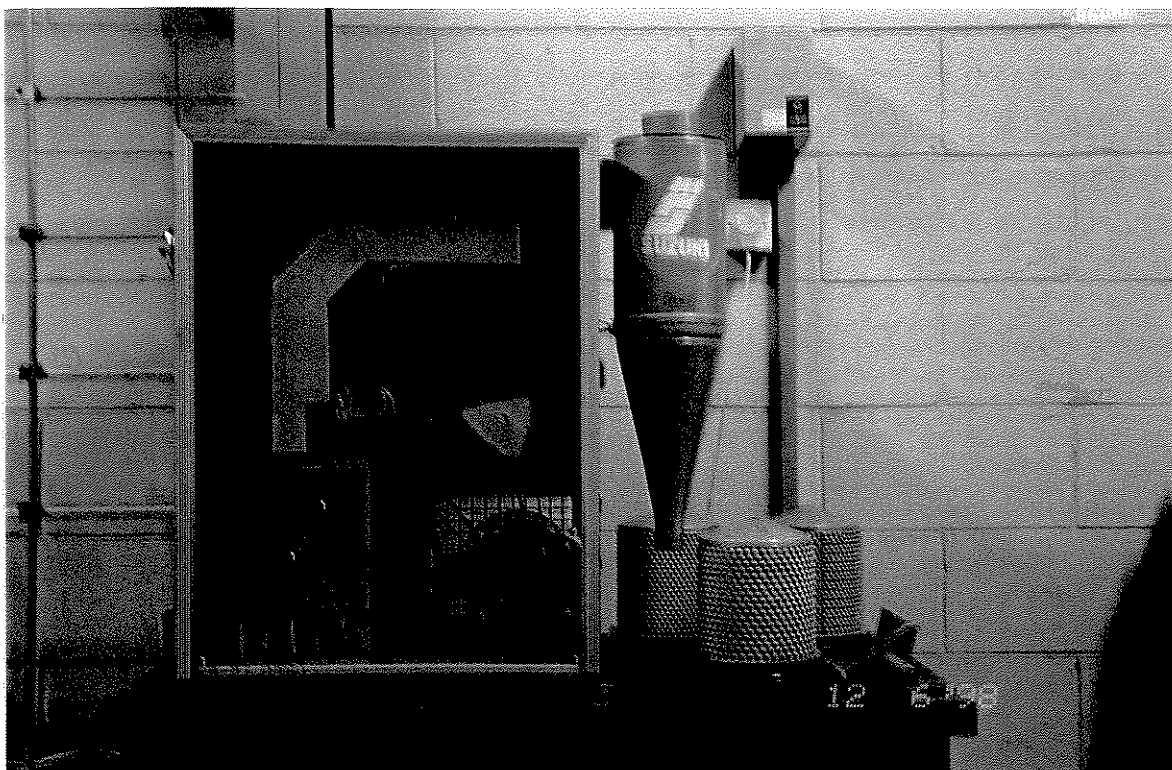


Figura 3.7 - Detalhe fotográfico da máquina testadora.

3. 2. 3 - CÂMARA DE GERMINAÇÃO

Utilizou-se dois de germinadores da marca FANEM modelo 348 EB e uma FANEM modelo 346, compostos de sistemas controladores de temperatura e umidade, conforme esquematizado na Figura 3.8. Os germinadores são compostos de lâmpadas fluorescentes e sistema de recirculação d'água e encontram-se no Laboratório de Sementes na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP.



Figura 3.8 - Detalhe Fotográfico da Câmara de Germinação.

3.3 - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Esta seção será desenvolvida, para melhor compreensão, em três partes distintas: cinética de secagem com acompanhamento da evolução da temperatura da semente, avaliação da qualidade fisiológica e avaliação da qualidade física.

3.3.1 - CINÉTICA DE SECAGEM

Depois de ligado o soprador de ar, regulava-se a vazão de ar ajustando sua válvula de controle. Após obter a temperatura do ar de secagem desejada para o ensaio, mantinha-se o sistema em funcionamento sem a carga úmida de sólidos por aproximadamente trinta minutos até que o regime térmico fosse estabelecido.

Uma quantidade pré-estabelecida de carga úmida de sementes era pesada e colocada no leito do secador.

Dado início a operação de secagem, amostras de sementes foram retiradas em intervalos de tempo diferentes: (1) intervalo de dois minutos para acompanhamento da temperatura da semente, e, (2) intervalos variados de cinco e dez minutos para determinação da umidade, bem como para os testes de germinação, vigor e rendimento.

(1) As amostras coletadas em intervalos de 2 min eram acondicionadas em um calorímetro constituído de um recipiente cilíndrico fechado, de dimensões 70 mm de altura e 35 mm de diâmetro, isolado com lã de rocha e alumínio

corrugado e dotado de um termopar pré-calibrado tipo J acoplado ao sistema de aquisição de dados.

A cada dois minutos, o calorímetro era preenchido com sementes de arroz e a temperatura da semente era registrada no sistema de aquisição de dados. Após o registro da temperatura, as sementes eram retornadas ao leito secador.

O acompanhamento da evolução da temperatura da semente, entre outros, teve como objetivo, verificar quando a semente atingia a temperatura de 35°C, que é a temperatura estipulada para finalização da secagem, pois, essa temperatura é assumida como a limite para o processo de degradação da semente de arroz, Ramos (1985), Brooker et al. (1982).

Ao contrário do que é feito em uma secagem convencional, que no momento em que a temperatura do sólido atinge o seu valor limite, a secagem finaliza, nos ensaios realizados neste trabalho, quando a semente atingia a temperatura de 35°C, era ligado o resfriador, com o equipamento ainda em operação, durante um período de tempo pré-determinado (20 min a 30 min), ocasionando assim um abaixamento na temperatura da semente. Este método foi adotado como uma alternativa de obter a redução da umidade em níveis de armazenamento e recebe o nome de ciclos de resfriamento.

Testes preliminares confirmaram a necessidade de, no mínimo, três ciclos de resfriamento para que a semente pudesse ser armazenada com teor de umidade adequado. A duração do ciclo foi determinada com base em estudo realizado por Lima (1997) que na secagem de grão de arroz em leito de jorro cônico constatou que um aumento na duração do ciclo aumenta a porcentagem de quebra dos grãos. Adaptando essa técnica para o caso de sementes, fez-se testes com intervalos de vinte e trinta minutos, confirmando-se o intervalo de

vinde minutos como suficiente para que as sementes tivessem a umidade reduzida em níveis desejados sem danos significativos na qualidade (física e fisiológica). Os testes realizados para determinação do número de ciclos e intervalo de tempo utilizado serão apresentados no Capítulo 4.

(2) As amostras coletadas entre cinco e dez minutos foram divididas em três partes.

A primeira parte foi destinada à determinação da umidade da semente. Para determinação da umidade utilizou-se o método da estufa a 110°C em que uma quantidade de semente era acondicionada em cadinho de porcelana, pesada e levada a um dessecador por um pequeno período de descanso e então, submetida à estufa por vinte e quatro horas a 110°C. Passadas as vinte e quatro horas os cadinhos eram mantidos num dessecador por cerca de trinta minutos e então processava-se a pesagem novamente. Por meio da diferença entre as massas seca e úmida, obtinha-se a umidade da semente.

A segunda e terceira amostras foram destinadas aos testes de avaliação da qualidade física e fisiológica, descritos na Seção 3.3.2.

O término da secagem foi determinado após um total de três ciclos de resfriamento. O material seco foi retirado do leito e armazenado em recipientes plásticos abertos.

3.3.2 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FISIOLÓGICA DAS SEMENTES

Os testes que visam avaliar a qualidade fisiológica das sementes foram realizados no Laboratório de Sementes da Faculdade de Engenharia Agrícola

da UNICAMP, gentilmente cedido pelo Departamento de Pré-processamento de Produtos Agrícolas.

A alíquota de sementes reservada à análise da qualidade fisiológica durante a operação de secagem foi acondicionada em sacos plásticos e direcionadas ao Laboratório de Sementes da Faculdade de Engenharia Agrícola, onde foram realizados os testes de germinação e de vigor das sementes.

O percentual do poder de germinação foi determinado pelo Teste Padrão de Germinação (TPG) realizado segundo o R.A.S. do Ministério da Agricultura (Regras para Análise de Sementes).

Oito lotes de cinquenta sementes (8x50) foram colocadas para germinar em rolo de papel de filtro (RP) dispostas regularmente, seguindo um espaçamento, entre as sementes, de aproximadamente cinco vezes a largura da semente. O substrato foi suficientemente umedecido de modo que durante todo o teste as sementes contivessem a quantidade de água necessária para sua germinação. Os rolos contendo as sementes foram dispostos em germinadores (câmaras ambientais) com temperatura controlada em 20°C num período de dezesseis horas e 30°C por oito horas. A umidade relativa do ar dentro dos germinadores foi mantida em torno de 100%. As sementes permaneceram nos germinadores por um período de 14 dias, sendo que no quinto dia os rolos foram retirados e procedeu-se a primeira contagem das plântulas germinadas, infeccionadas e mortas. Após esta contagem, as sementes foram novamente enroladas no papel de filtro e recolocadas nos germinadores por mais nove dias, quando se fez a contagem final das plântulas germinadas.

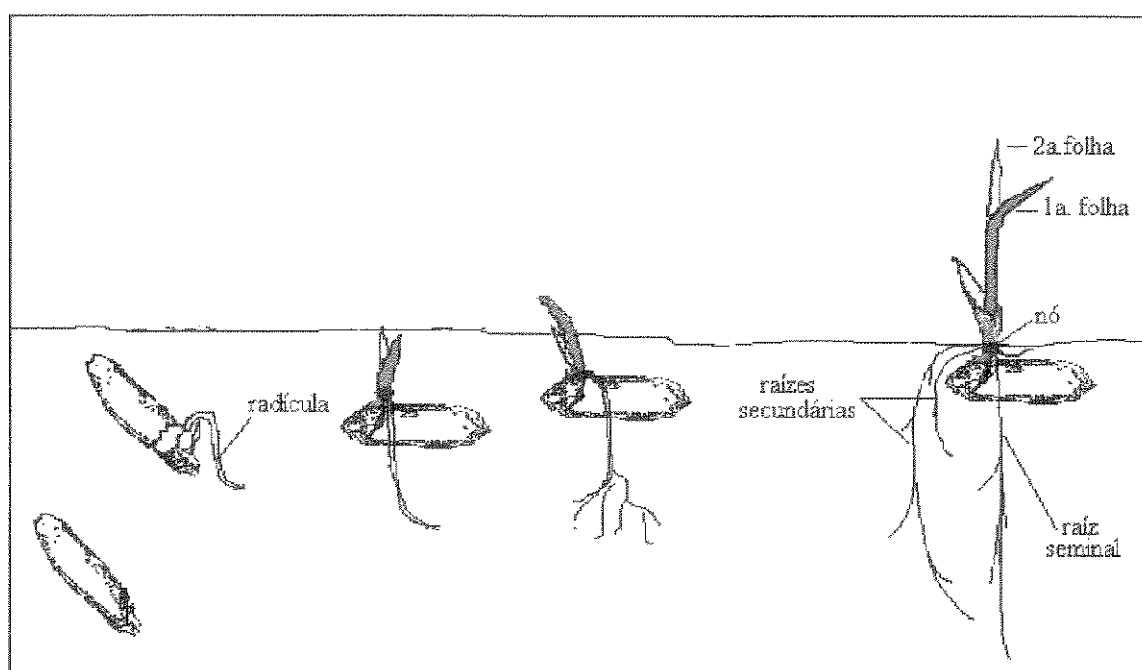


Figura 3.9 - Crescimento normal de uma planta de arroz.

O vigor foi avaliado por meio do Teste de Envelhecimento Acelerado segundo as Regras para Análise de Sementes do Ministério da Agricultura, 1992 no qual a semente foi submetida a um *stress*, condições extremamente adversas em que ocorre deteriorização de maneira acelerada (altas temperatura e umidade relativa). Duzentas sementes foram separadas e postas em pequenas caixas de plástico denominadas *germi-box* e em seguidas levadas à estufa (câmara climática) por 72h com umidade relativa em torno de 100% e temperatura de 50°C. Após essa operação denominada de envelhecimento acelerado, as sementes foram divididas em lotes de 50 sementes, dispostas em papel de filtro e realizado o Teste Padrão de Germinação.

3.3.3 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICA DAS SEMENTES

A alíquota destinada a avaliação da qualidade física da semente foi submetida primeiramente ao beneficiamento, o qual consiste em descascar a amostra de sementes, via moega do descascador (Figura 3.6) passando pela câmara de aspiração em que a casca é eliminada, saindo pelo bocal do ciclone. Com o registro de descarga aberto, coletou-se os grãos de arroz numa caneca, sem passar pelo brunidor (sem necessidade no caso de sementes). Com as sementes descascadas, procedeu-se a separação utilizando o classificador *trieur* número 2, para grão tipo longo, operando durante 1min. Os grãos foram retirados do classificador e pesados na forma de inteiros e totais (inteiros somados com os quebrados).

As partir da fração de sementes descascadas e inteiras, separavam-se um total de 100 sementes e procedia-se a contagem das sementes fissuradas.

Inicialmente pretendia-se verificar o surgimento de fissuras radiograficamente, como feito por Henderson (1958). No entanto, esse método se mostrou inviável devido aos recursos materiais disponíveis. A contagem das sementes fissuradas foi feita, com o auxílio de uma lupa acoplada a uma lâmpada fluorescente, Figura 3.10. As fissuras eram avaliadas como transversais, longitudinais e profundas.

Com as massas de sementes inteiras e totais, procedeu-se a análise de quebra, determinando-se o rendimento de sementes inteiras e computando-se os danos mecânicos causados às sementes.

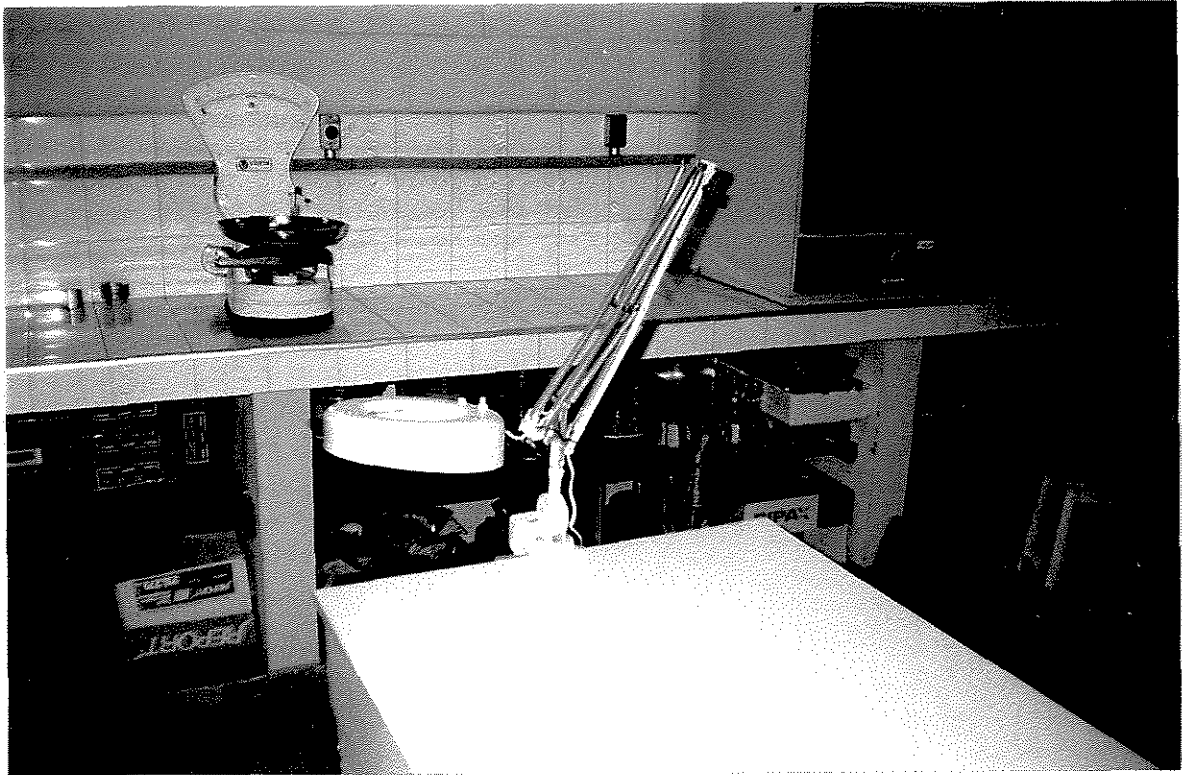


Figura 3.10 - Detalhe fotográfico da lupa utilizada para visualização das fissuras.

3.4 - MEDIDAS

As variáveis medidas no sistema foram:

Vazão do ar

O fluxo de ar era medido a partir da leitura de queda de pressão no manômetro em "U". De acordo com a formulação de calibração do tubo de Pitot, obtém-se a vazão, sendo:

$$Q = \frac{V\pi D^2}{4} \quad (3.1)$$

$$V = C \sqrt{\frac{2g(1-\rho)\Delta P}{\rho}} \quad (3.2)$$

a constante C é dada pela seguinte correlação:

$$C = 0,934308 + 0,128677\Delta P - 0,114387\Delta P^2 + 0,0445225\Delta P^3 - 0,00751933\Delta P^4 + 0,00045763\Delta P^5 \quad (3.3)$$

ΔP em cm.

Umidade absoluta do ar de secagem

As temperaturas de bulbo seco e úmido foram medidas por intermédio de termopares tipo T inseridos no psicrômetro de dupla mecha instalado no secador e ligados ao sistema de aquisição de dados contínuo. Essas medidas foram feitas para determinação da umidade absoluta e relativa do ar de secagem, sendo obtida segundo o modelo de Cremasco (1998):

$$Y_{A_\infty} = \frac{w_{A_\infty}}{1 - w_{A_\infty}} \quad (3.4)$$

sendo:
$$w_{A_\infty} = \frac{w_{A_i} + \psi C_p^*}{1 + \psi(1 - C_p^*)}$$

Maiores detalhes sobre esta equação, encontram-se no Anexo.

Temperatura da Semente

A temperatura da semente foi medida por meio de um calorímetro conforme descrito na Seção 3.3.1 e registrada no sistema contínuo de aquisição de dados.

Umidade da Semente

A umidade da semente foi determinada segundo o Método da Estufa descrito na Seção 3.3.1 e calculada a partir das definições:

Umidade em base úmida:

$$U = \frac{\text{massa da semente úmida} - \text{massa da semente seca}}{\text{massa da semente úmida}} \quad (3.5)$$

Danos Mecânicos causados à Semente

A determinação dos danos mecânicos foi realizada por meio da análise de quebra das sementes a partir da equação:

$$\omega = \frac{\text{massa de sementes inteiras após o beneficiamento}}{\text{massa total de sementes após o beneficiamento}} \quad (2.13)$$

Carga úmida de sólidos

Optou-se em trabalhar com carga de sólidos de 5 e 10kg devido a dificuldade na obtenção do produto utilizado na secagem. Devido a opção em realizar um maior número de experimentos e a necessidade de que as sementes apresentassem a umidade proveniente da colheita, determinou-se a utilização de cargas menores de sólidos.

3.5 - PLANEJAMENTO FATORIAL

Tendo em vista o interesse de analisar a influência da temperatura do ar de secagem, a umidade inicial das sementes e a carga inicial de sólidos, e a razão Q/Q_{jm} , na qualidade fisiológica e física das sementes de arroz durante a secagem em batelada em leito de jorro cônico, utilizou-se um arranjo tipo planejamento fatorial fracionário ($2^{4-1}=8$), em que para cada variável estudada utilizou-se dois níveis diferentes, um nível máximo (+) e um nível mínimo (-). Os níveis destas variáveis foram selecionados pelos indicadores de qualidade das sementes e também pela limitação imposta pelo equipamento utilizado. O planejamento com oito ensaios mostrado na Tabela 3.2 é uma meia fração do fatorial completo ($2^4=16$). Costuma-se representá-lo com a notação 2^{4-1} , que é a meia fração de 2^4 :

$$\frac{1}{2}(2^4) = 2^{-1}2^4 = 2^{4-1} = 8$$

Essa notação indica que existem quatro variáveis, cada uma com dois níveis, mas são realizados apenas oito ensaios. A presença do valor -1 no expoente indica que o fatorial completo foi dividido por 2, Barros Neto, Benício e Bruns (1995).

No tratamento estatístico, as variáveis que influenciam no processo são denominadas fatores e a quantificação da influência dos fatores é denominada efeito. Admitindo-se que os efeitos principais dos fatores sejam suficientes para descrever a resposta (germinação, vigor, número de fissuras e rendimento), os ensaios experimentais foram realizados sem repetições.

Tabela 3.2 - Uma meia fração 2^{4-1} do fatorial 2^4 para o estudo das respostas de germinação, vigor, fissura e quebra da semente de arroz

Fator		Nível	
		-	+
1	Temperatura do ar de secagem (°C)	40	60
2	Carga úmida de sólidos (W ₀)	5	10
3	Umidade inicial das sementes (U ₀)	0,21	0,25
4	Razão $\frac{Q}{Q_{jm}}$	1.52	1.87

RESPOSTAS														
Exp.	I	1	2	3	4	12	13	14	23	24	34	G	V	ω
1	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	0,912	0,881	0,795
2	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	0,792	0,877	0,790
3	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	0,918	0,884	0,770
4	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	0,893	0,867	0,799
5	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	0,910	0,872	0,779
6	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	0,884	0,868	0,804
7	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	0,905	0,895	0,776
8	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0,904	0,873	0,764

Tomando as colunas apropriadas na matriz de planejamento e multiplicando-as duas a duas obtemos os sinais necessários para o cálculo dos valores das seis interações de dois fatores. Aplicando-o às respostas chegamos aos valores de quatro efeitos principais, suas interações e a média global.

A fração 2^{4-1} tem uma característica importante: seus contrastes não misturam os efeitos principais com interações de dois fatores, e sim com interações de três fatores, que em princípio devem ser menos significativas.

Graças a isso, e supondo-se que as interações de três fatores sejam mesmo desprezíveis, os valores dos contrastes deverão fornecer boas aproximações dos valores dos efeitos principais.

A apresentação das faixas das variáveis do processo de secagem bem como os resultados e discussões serão apresentados no Capítulo 4.

CAPÍTULO 4

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Neste capítulo serão apresentados as análises da influência das variáveis: temperatura do ar de secagem (T), carga úmida de sólidos (W_0), umidade inicial do material (U_0), e a relação entre a vazão de operação do ar de secagem e aquela em condições de jorro mínimo, (Q/Q_{jm}), sobre a qualidade de sementes de arroz submetidas à secagem em batelada em um leito de jorro cônico com ciclos de resfriamento. Optou-se em dividir a análise de duas formas distintas. A primeira quanto à qualidade fisiológica da semente expressa em termos do percentual de germinação e de vigor e num segundo momento, quanto à qualidade física em termos de danos mecânicos computados por meio de fissuras e de quebras. Contudo, primeiro serão apresentados os ensaios realizados com a finalidade de determinar o número de ciclos de resfriamento, bem como o intervalo de tempo de cada ciclo utilizado.

Primeiramente realizou-se quatro ensaios feitos em duplicatas em que se procedeu a secagem convencional, ou seja, sem ciclos de resfriamento. Parte dos resultados está apresentada na Figura 4.1, em que o tempo encontra-se na abcissa, enquanto que as variáveis: percentual de germinação e vigor, evolução da temperatura da semente e umidade adimensional em base úmida, encontram-se na ordenada.

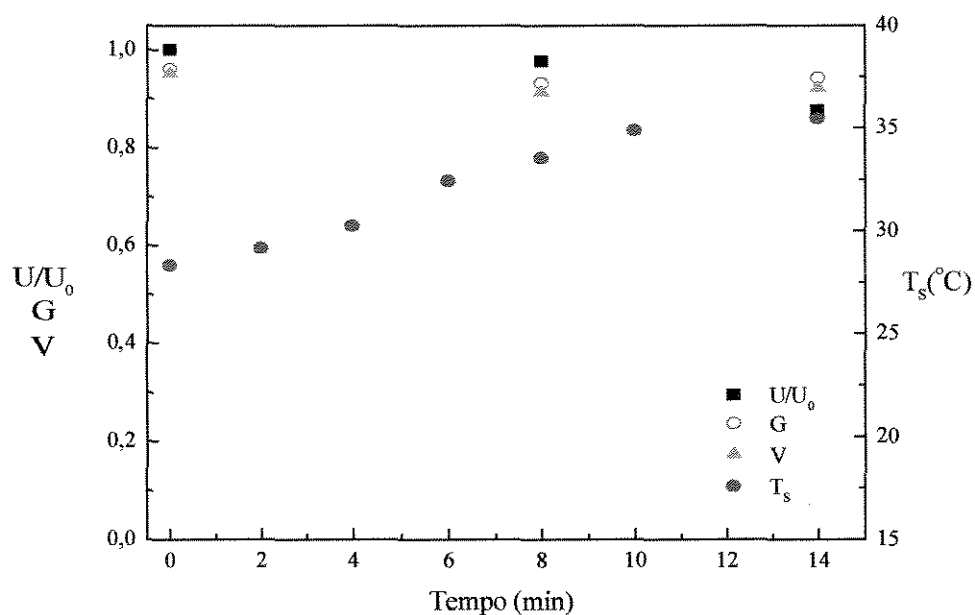


Figura 4.1 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor - secagem convencional

$T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,25$; $Q/Q_{\text{im}}=1,52$; $T_{s0}=28^{\circ}\text{C}$.

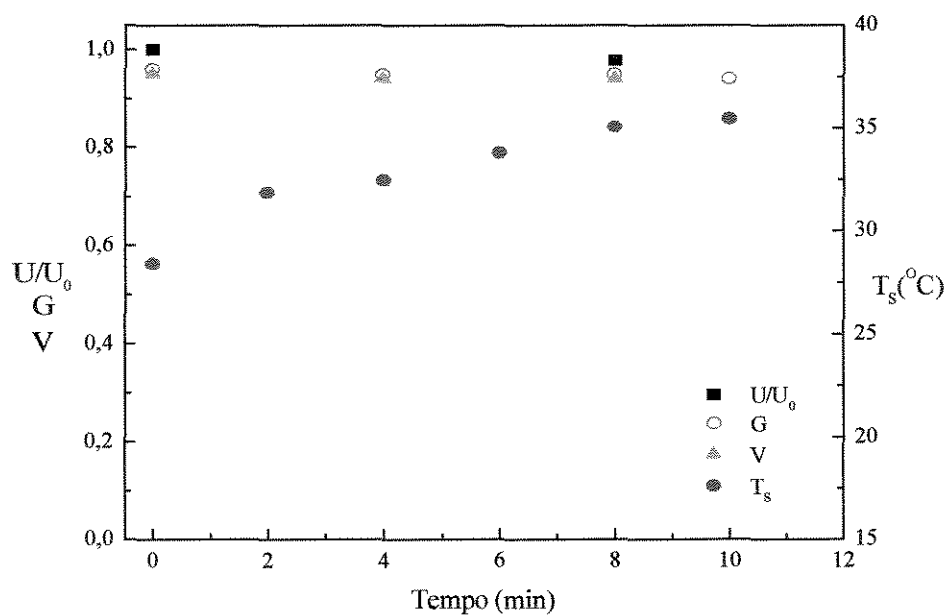


Figura 4.2 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor - secagem convencional

$T=50^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,252$; $Q/Q_{\text{im}}=1,52$; $T_{s0}=28^{\circ}\text{C}$.

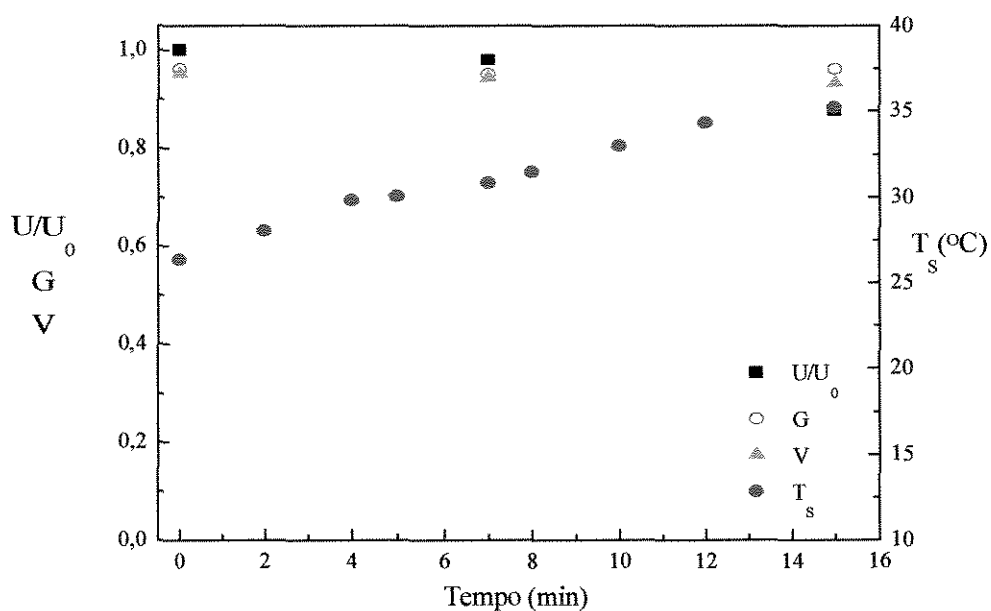


Figura 4.3 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor - secagem convencional
 $T=40^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,251$; $Q/Q_{\text{im}}=1,52$; $T_{s0}=26^{\circ}\text{C}$.

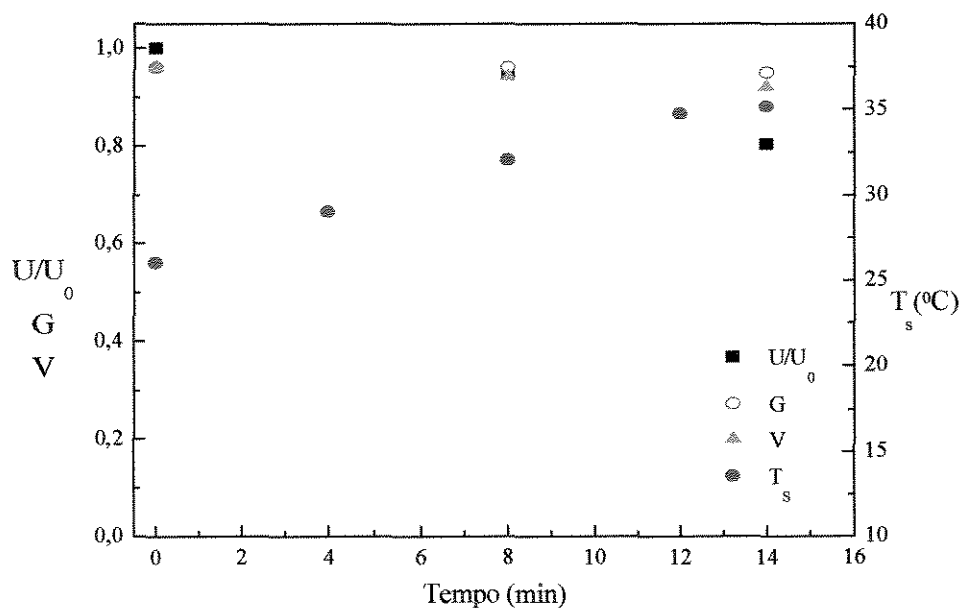


Figura 4.4 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor - secagem convencional
 $T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,250$; $Q/Q_{\text{im}}=1,93$; $T_{s0}=26^{\circ}\text{C}$.

As Figuras 4.1 a 4.4 representam parte dos ensaios realizados sem adoção de ciclos de resfriamento. Os demais ensaios podem ser encontrados no Apêndice A. As curvas apresentadas nas Figuras 4.1 a 4.4 mostram um comportamento semelhante ao descrito por Lima (1997) na secagem de arroz em casca em leito de jorro cônico, ou seja, a temperatura da semente atinge rapidamente a temperatura limite de degradação fisiológica, que segundo Ramos (1985) é de 35°C, exigindo o fim do experimento. Isso pode ser explicado pelo fato de que a semente, com elevado índice de umidade, recebe uma quantidade substancial de energia do ar aquecido e esta energia provoca o rápido aquecimento da água contida, principalmente, na casca da semente.

Ao se trabalhar respeitando a temperatura limite de degradação, nota-se que o tempo de secagem foi de aproximadamente 15 min, insuficiente para reduzir a umidade em níveis adequados ao armazenamento. Observa-se que nas Figuras 4.1 a 4.3, por exemplo, nas quais variou-se a temperatura do ar de secagem e procurou demais condições de operação, a umidade final ficou em torno de 21% (base úmida), valor inadequado para o armazenamento.

Sabendo-se que os níveis adequados para o armazenamento giram em torno de 11 e 13% (base úmida), e não foi possível obter valores satisfatórios na secagem convencional, a viabilidade de secar sementes de arroz em batelada em um leito de jorro cônico com ar aquecido, como o utilizado no presente trabalho só se torna possível se se adotar a técnica do ciclo de resfriamento.

A técnica dos ciclos de resfriamento consiste em diminuir a temperatura do ar de secagem com o equipamento em operação, mantendo a temperatura da semente abaixo de 35°C (temperatura limite de degradação fisiológica)

Para definir o número de ciclos a serem adotados, bem como o intervalo de tempo para cada ciclo, foram realizados ensaios variando o número de ciclos adotados (n), o tempo de duração de duração de cada ciclo (t_c), e as condições de operação do equipamento conforme indicado na Tabela 4.1. Ao todo foram sete experimentos realizados em duplicata.

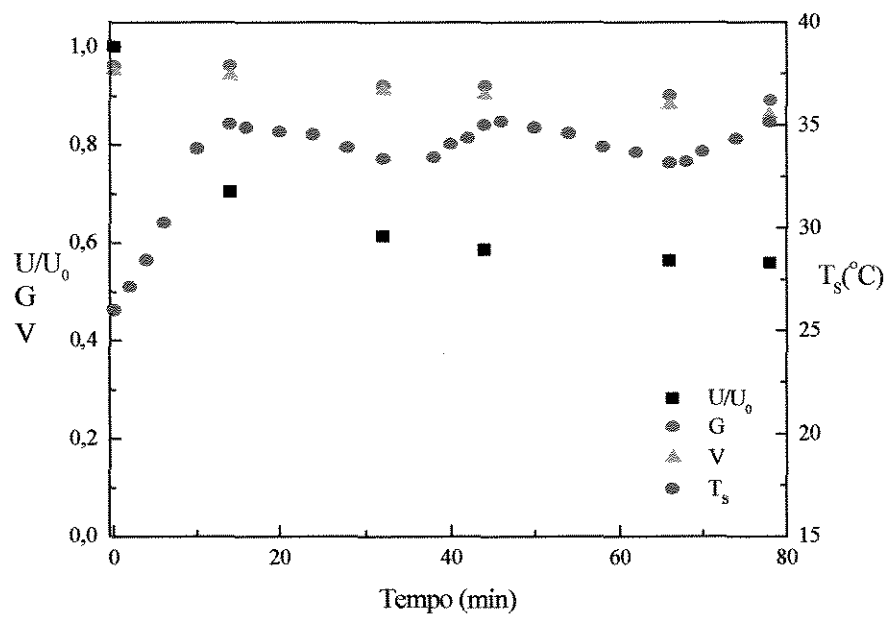
Tabela 4.1 - Condições de operação do secador para definição do número de ciclos adotados e o intervalo de tempo de cada ciclo.

$T(^{\circ}\text{C})$	W_0 (kg)	U_0 (b.u.)	T_{s0} ($^{\circ}\text{C}$)	Q/Q_{jm}	n	t_c (min)
40 - 60	10	0,21 - 0,25	23 - 28	1,24 - 1,93	2 - 3	10 - 30

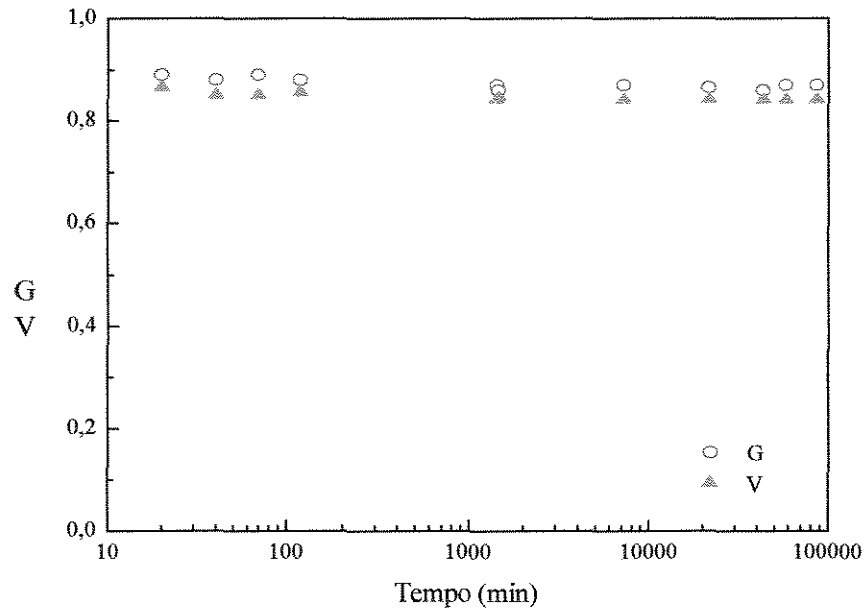
Parte dos resultados estão apresentados nas Figuras 4.5 e 4.6. O tempo encontra-se na abcissa enquanto o percentual de germinação e de vigor, a evolução da temperatura e a umidade adimensional em base úmida estão apresentados na ordenada. As Figuras (a) referem-se ao período de secagem, enquanto as Figuras (b) referem-se ao período pós-secagem ou armazenamento.

Observando as Figuras 4.5 e 4.6 percebe-se que a utilização de ciclos de resfriamento influencia não só o percentual de germinação e vigor mas o processo de secagem como um todo.

Como pode ser visto, mediante análise das Figuras 4.5 e 4.6, a redução de umidade foi significativamente maior com a utilização de ciclos de resfriamento quando comparado com os ensaios referentes a secagem convencional. Nesses ensaios foram utilizados dois ciclos ($n=2$), a umidade final obtida ainda se encontra fora do padrão desejado, em torno de 15% (base úmida).



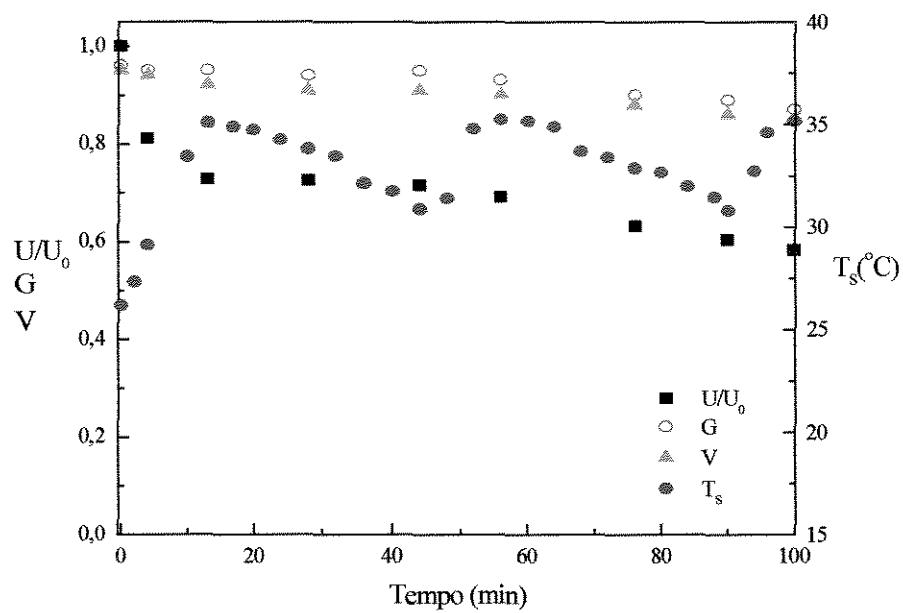
(a)



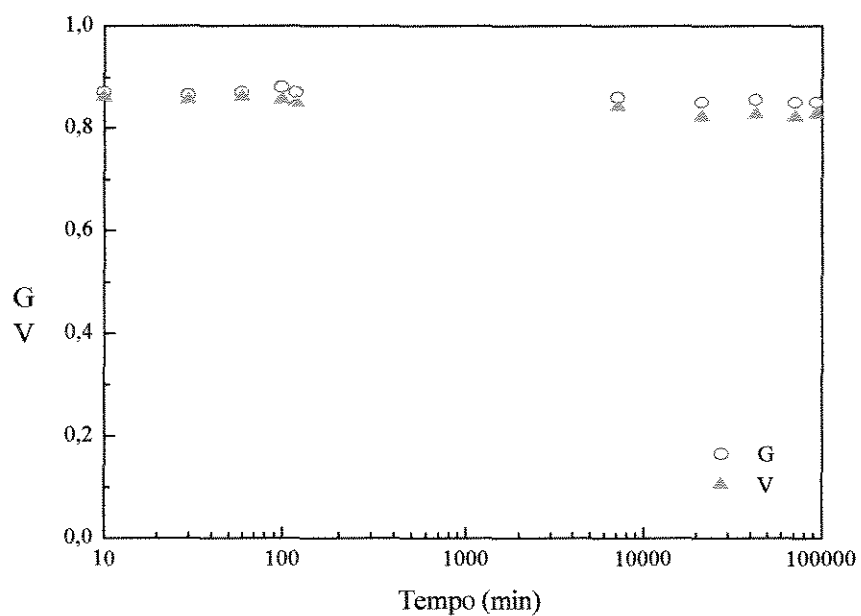
(b)

Figura 4.5 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor - secagem com ciclos de resfriamento

$T=60^{\circ}C$; $W_0=10kg$; $U_0=0,259$; $Q/Q_{jm}=1,49$; $T_{s0}=26^{\circ}C$; $n=2$; $t_c=20min$.



(a)



(b)

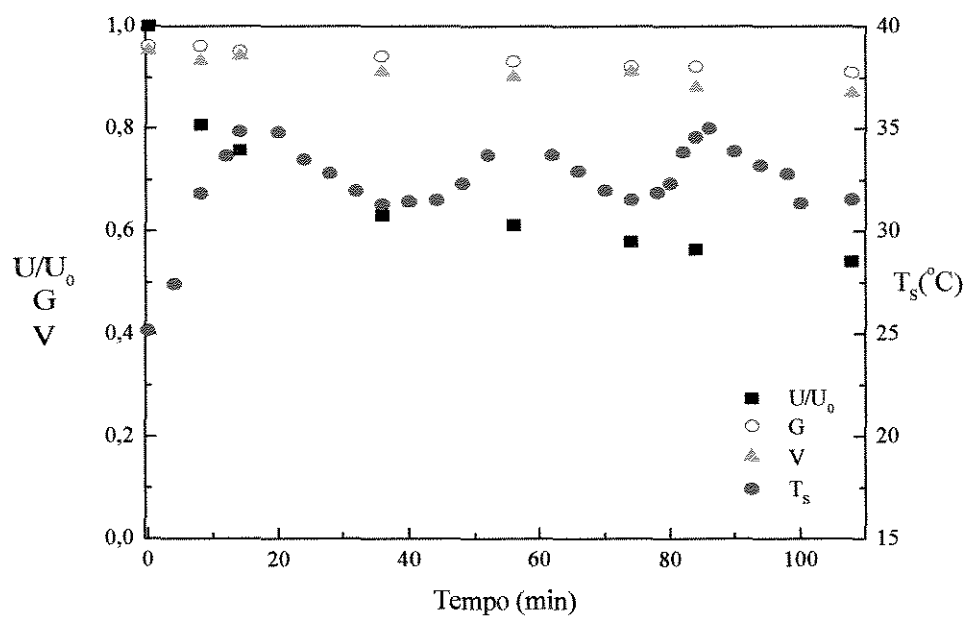
Figura 4.6 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor

$T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,251$; $Q/Q_{\text{im}}=1,52$; $T_{s0}=26^{\circ}\text{C}$; $n=2$; $t_c=30\text{min}$.

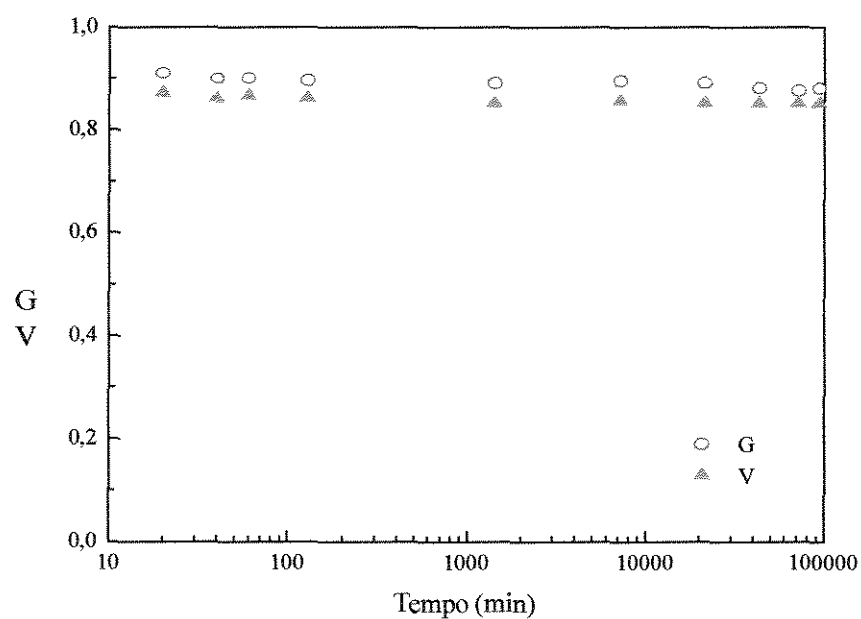
No ensaio da Figura 4.6 em que foram adotados dois ciclos de resfriamento ($n=2$) com duração de trinta minutos ($t_c=30\text{min}$), o tempo total de secagem aumentou em aproximadamente 20 min, comparando com o ensaio da Figura 4.5 em que foram adotados dois ciclos ($n=2$) com 20min de duração ($t_c=20\text{min}$). A umidade final obtida em ambos os experimentos foi em torno de 15% (base úmida). É possível observar que a secagem com ciclos de resfriamento de menor duração ($t_c=20\text{min}$) apresentou menor queda nos índices de qualidade fisiológica. Nas Figuras referentes ao período de estocagem, apesar de ambos os ensaios forneceram índices acima de 80%, verificou-se uma queda mais evidente para o ensaio com $t_c=30\text{min}$.

Em função de os ensaios realizados com o tempo do ciclo de 20 min e 30 min conduzirem praticamente a mesma redução final de umidade e pelo fato de os ensaios feitos com ciclos de duração de 30 min ($t_c=30\text{ min}$) mostrarem menores valores para o poder de germinação e de vigor quando comparados aos ensaios feitos com $t_c=20\text{ min}$; optou-se por manter este último como o tempo para o ciclo de resfriamento como referência. Deste modo, foram realizados novos ensaios com três ciclos de resfriamento. Verificou-se, que com número de ciclos igual a três com intervalo de tempo de vinte minutos ($t_c=20\text{ min}$), reduz-se a umidade em níveis desejados de armazenamento e os índices de germinação e de vigor mantiveram-se superiores ao exigido pelo Ministério da Agricultura do Brasil.

As Figuras 4.7 e 4.8 indicam os experimentos realizados com $n=3$ e $t_c=20\text{min}$ e de maneira análoga as Figuras anteriores, o tempo encontra-se na abcissa enquanto as variáveis: percentual de germinação e de vigor, umidade adimensional em base úmida e temperatura da semente encontram-se na ordenada. As Figuras (a) são referentes ao período de secagem e as (b) ao período de armazenamento.



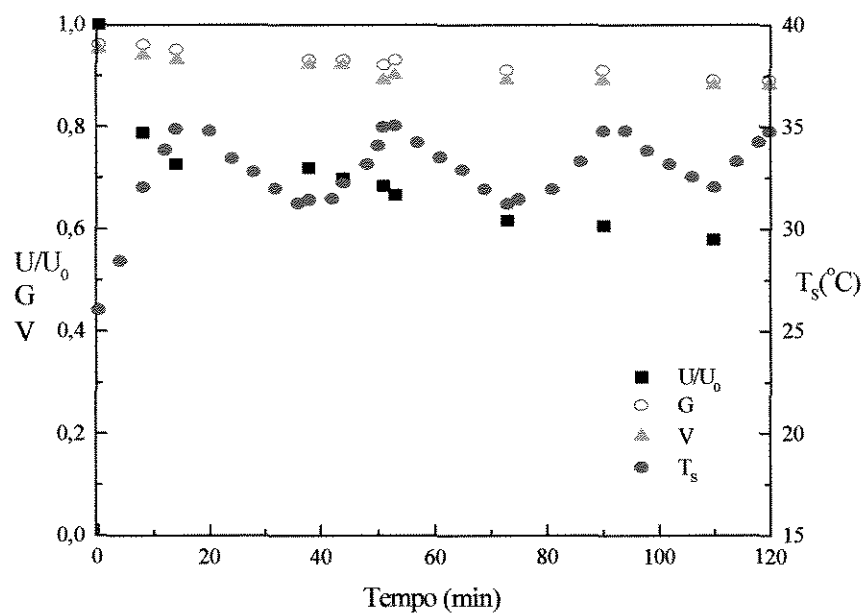
(a)



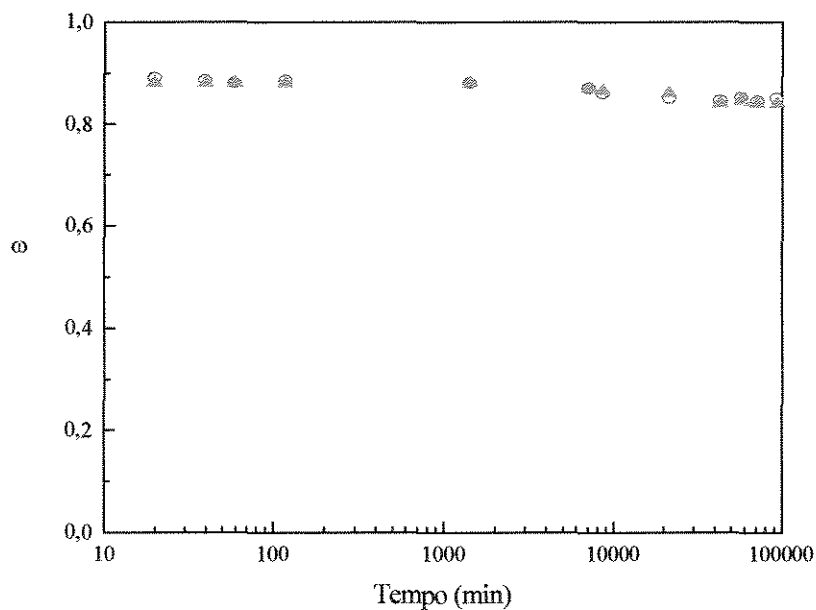
(b)

Figura 4.7 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor

$T=40^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,25$; $Q/Q_{\text{im}}=1,52$; $T_{s0}=25^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



(a)



(b)

Figura 4.8 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor

$T=40^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,25$; $Q/Q_{im}=1,52$; $T_{S0}=26^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.

Enfatiza-se a necessidade do acompanhamento dos índices de qualidade fisiológica durante o período pós-secagem devido a real necessidade de um armazenamento para as sementes.

Os ensaios realizados com três ciclos de resfriamento se mostraram satisfatórios em relação a umidade final obtida (cerca de 13%). Houve um aumento no tempo total de secagem e conforme Tang e Sokhansanj (1993), um aumento no tempo de secagem leva ao decréscimo da qualidade fisiológica do produto. Porém os índices de qualidade fisiológica se mantiveram superiores ao patamar exigido por Lei (>80%) mesmo durante o período de armazenamento.

Com base nesses resultados determinou-se que a secagem de sementes em leito de jorro cônico com ciclos de resfriamento seria realizada num total de três ciclos ($n=3$) com duração de 20min cada ciclo ($t_c=20\text{min}$). Montou-se então o planejamento fatorial, conforme esquematizado na Tabela 3.2.

4.1 - ANÁLISE DA SECAGEM

Baseando-se no planejamento fatorial, foram realizados oito ensaios experimentais nas condições de operação apresentadas na Tabela 4.2. Alguns experimentos foram feitos em duplicata, contudo fez-se ensaios em que a temperatura da semente ultrapassou a temperatura limite de degradação.

Tabela 4.2 - Condições de operação do secador em leito de jorro.

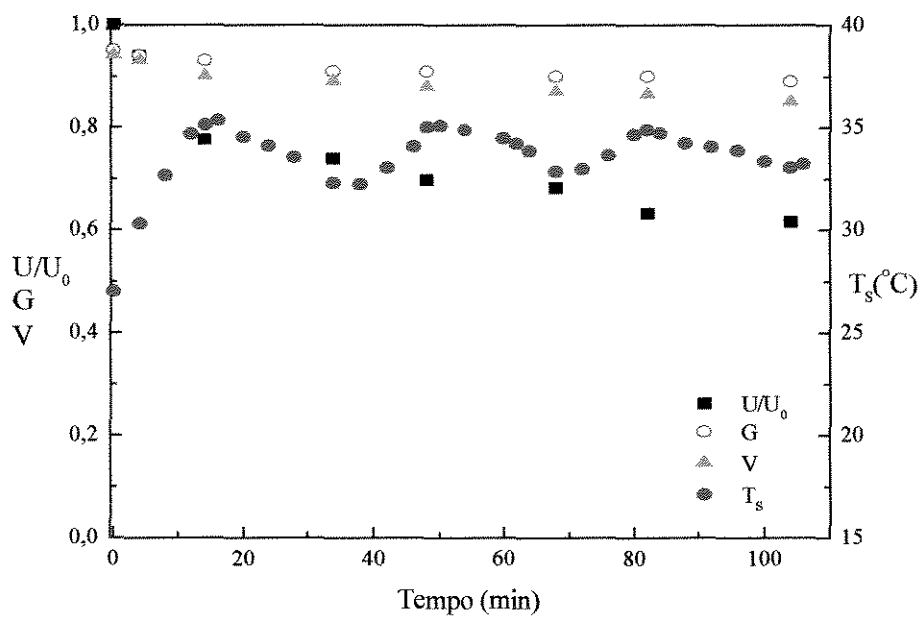
Q/Q_{jm}	$T (^{\circ}\text{C})$	$W_0 (\text{kg})$	$U_0 (\text{b.u.})$	$T_{s0} (^{\circ}\text{C})$
1,5 - 2,0	40 - 60	5 - 10	0,21 - 0,25	23 - 28

A partir da metodologia apresentada no Capítulo 3, obteve-se as curvas experimentais de redução de umidade (base úmida), percentual de germinação e de vigor e evolução da temperatura da semente.

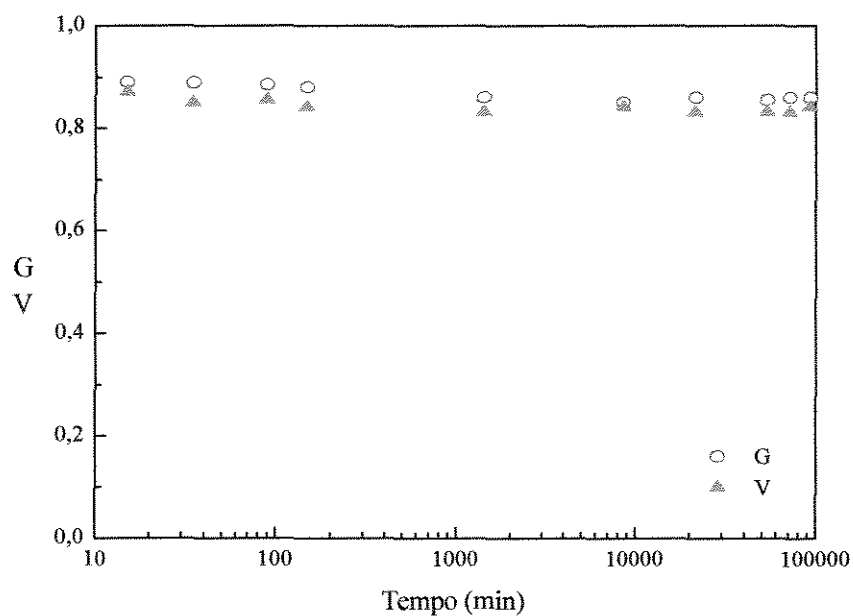
A seguir serão apresentados os resultados de acordo com a Figura 4.9. As Figuras (a) referem-se ao período de secagem, enquanto as (b) referem-se ao período pós-secagem ou armazenamento. Da mesma forma em que foram apresentadas as Figuras anteriores, o tempo encontra-se na abcissa enquanto que as variáveis: poder de germinação, vigor, umidade adimensional e temperatura da semente encontram-se na ordenada. Nos gráficos de armazenagem, encontram-se na abcissa o tempo e na ordenada as variáveis poder de germinação e vigor. As Figuras 4.9 a 4.12 representam apenas alguns ensaios experimentais sendo que os demais resultados encontram-se no Apêndice A.

Verifica-se um comportamento padrão para a secagem de sementes de arroz em leito de jorro cônico com ciclos de resfriamento, nas condições apresentadas nas Figuras de 4.9 a 4.11. As sementes atingem rapidamente a temperatura limite ($t_0 \cong 18\text{min}$), e a água é evaporada, principalmente, da casca da semente. O mecanismo da migração da água do interior para o exterior da semente pode ser ocasionado por um processo de difusão resultante de gradientes internos de umidade e/ou de temperatura.

De posse dos resultados experimentais foi possível determinar os valores experimentais da constante da cinética de secagem (α_{exp}), fazendo-se o gráfico de $\ln(U/U_0)$ versus tempo, obtendo-se o coeficiente de correlação superior a 0,9. Verificou-se que a redução de umidade final obedece a equação 2.3. Os resultados para a constante cinética de secagem, encontram-se na Tabela 4.3.

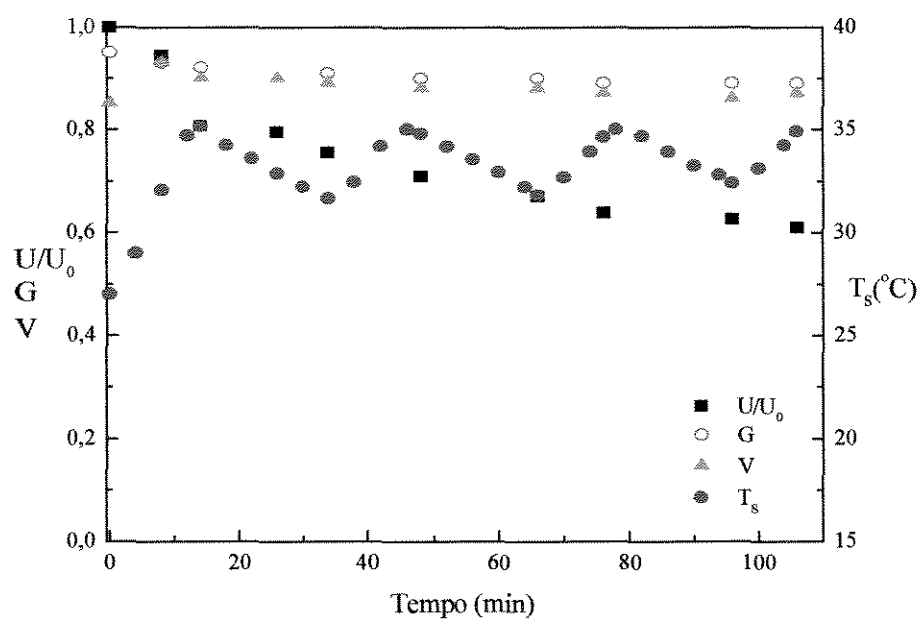


(a)

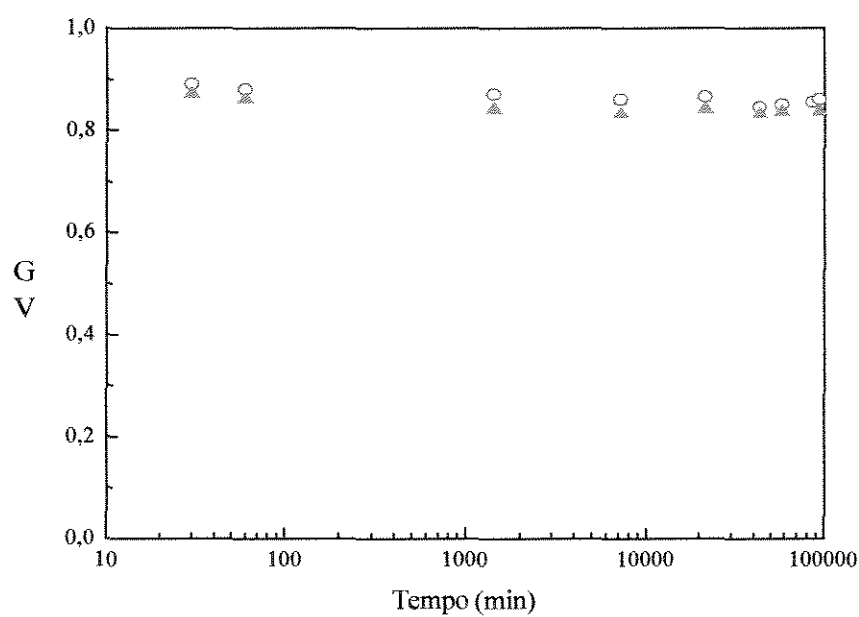


(b)

Figura 4.9 - Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura da sementes, poder de germinação e vigor
 $T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=5\text{kg}$; $U_0=0,21$; $Q/Q_{lm}=1,55$; $T_{S0}=27^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



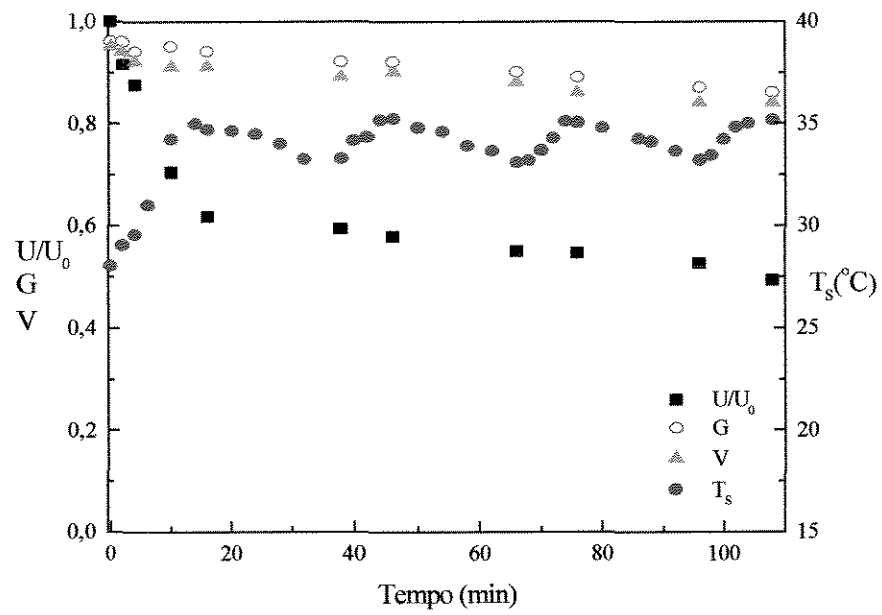
(a)



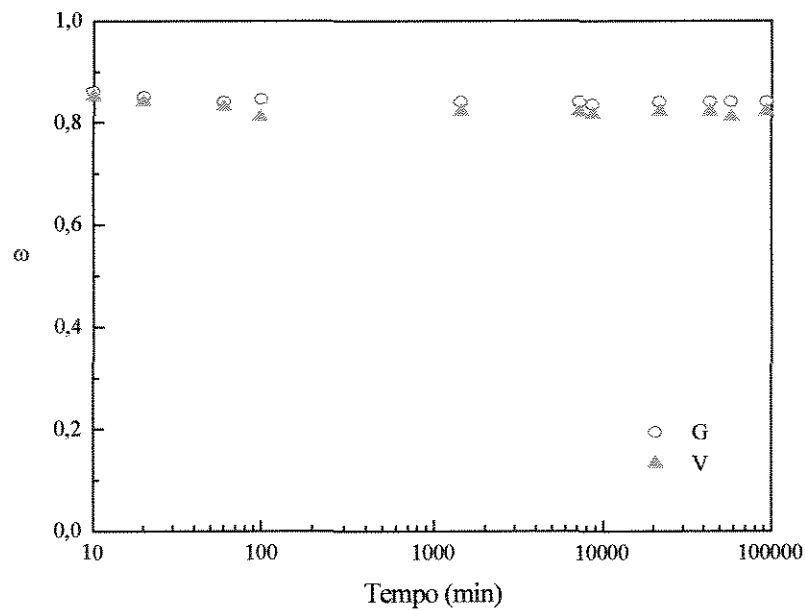
(b)

Figura 4.10 - Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura da sementes, poder de germinação e vigor

$T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,21$; $Q/Q_{\text{im}}=1,87$; $T_{s0}=26^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



(a)



(b)

Figura 4.11 - Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura da sementes, poder de germinação e vigor

$T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=5\text{kg}$; $U_0=0,26$; $Q/Q_{im}=1,56$; $T_{s0}=27^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.

$$\frac{U}{U_0} = e^{-\alpha t} \quad (2.3)$$

De maneira análoga a Lima (1997), propôs-se a seguinte formulação para a constante cinética de secagem em experimentos realizados com ciclos de resfriamento (α).

$$\alpha = \alpha_0 + n\alpha_C \quad (4.1)$$

sendo:

α a constante cinética de secagem global;

α_0 a constante cinética de secagem para o período do primeiro aquecimento das sementes;

α_0 a constante cinética de secagem a partir do primeiro período de resfriamento das sementes;

n , o número de ciclos de resfriamento.

A constante α_0 foi obtida experimentalmente a partir de $\frac{U}{U_0} = e^{-\alpha_0 t_0}$

sendo t_0 o tempo necessário para completar o primeiro aquecimento. Os coeficientes de correlação foram superiores a 0,9, portanto, a partir da equação 4.1, calculou-se o valor de α_C . Os resultados tanto para α_0 quanto para α_C estão apresentados na Tabela 4.3.

Com relação a evolução da temperatura das sementes, o mesmo procedimento foi adotado a partir da correlação proposta por Cremasco (1986), em que:

$$\frac{T - T_S}{T - T_{S0}} = e^{-\beta t} \quad (4.2)$$

sendo β a constante cinética do aquecimento da semente.

A constante β foi calculada para o primeiro aquecimento, fornecendo coeficientes de correlação superiores a 0,9 e os resultados podem ser encontrados na Tabela 4.3, a qual fornece os valores das constantes para parte dos ensaios realizados.

Tabela 4.3 - Valores experimentais para a constante cinética de secagem e aquecimento das sementes nas seguintes condições de operação.

E^*	W_0 (kg)	T (°C)	T_{s0} (°C)	T_{sf} (°C)	U_0 (b.u.)	Y_0 (g/kg)	n	t_c (min)	α	α_0	α_c	β
1	5	40	24	35,14	0,21	19,17	3	20	0,0217	0,0109	0,0036	0,0683
2	5	60	26	35,53	0,21	38,14	3	20	0,0264	0,0183	0,0027	0,00196
3	10	40	26	35,09	0,21	20,58	3	20	0,0185	0,0098	0,0029	0,0677
4	10	60	26	35,15	0,21	46,66	3	20	0,0238	0,0149	0,00295	0,0225
5	5	40	23	35,24	0,25	22,95	3	20	0,0273	0,0194	0,00261	0,0706
6	5	60	26	35,21	0,25	37,31	3	20	0,0414	0,034	0,0024	0,022
7	10	40	26	35,03	0,25	22,58	3	20	0,0399	0,0232	0,0055	0,0716
8	10	60	26	35,05	0,25	39,31	3	20	0,0303	0,0241	0,00206	0,0176
9	10	40	26	40,35	0,21	21,38	3	20	0,016	0,00703	0,00299	0,1889
10	5	50	29	35,33	0,21	28,59	3	20	0,0212	0,01401	0,00241	0,0305
11	10	50	28	35,40	0,23	27,14	3	20	0,0273	0,0159	0,00285	0,02307
12	10	50	27	35,21	0,21	25,31	3	20	0,0248	0,01417	0,00267	0,02568
13	5	60	29	35,34	0,20	39,86	3	20	0,0239	0,0164	0,00252	0,02325
14	5	40	23	35,29	0,18	19,50	3	20	0,0175	0,00959	0,00265	0,0683
15	5	50	26	40,34	0,22	29,31	2	20	0,0213	0,0156	0,00284	0,0521
16	10	40	26	35,48	0,25	24,02	2	30	0,0288	0,0228	0,00303	0,0778
17	10	40	24	35,11	0,25	22,57	2	20	0,0236	0,0176	0,00301	0,0720
18	10	40	25	34,97	0,25	19,38	3	20	0,03004	0,020	0,00328	0,0754
19	10	60	28	41,75	0,25	23,21	-	-	0,0089	-	-	0,0243
20	10	50	31	39,90	0,25	24,64	-	-	0,00731	-	-	0,0290
21	10	40	28	35,15	0,25	22,43	-	-	0,0017	-	-	0,0714

Na Tabela anterior a letra E indica os ensaios experimentais (*E - ensaio experimental n°.).

4.2 - ANÁLISE DO PERCENTUAL DE GERMINAÇÃO E VIGOR DE SEMENTES DE ARROZ SUBMETIDAS À SECAGEM COM CICLOS DE RESFRIAMENTO

A análise do percentual de germinação e do vigor foi feita mediante interpretação dos gráficos (a) e (b) das Figuras de 4.9 a 4.11. Nota-se também um comportamento padrão no que se refere ao poder de germinação e ao vigor. Em nenhum experimento os índices de germinação e de vigor atingiram níveis menores do que os exigidos pelo Ministério da Agricultura do Brasil (80%), comprovando que a secagem conforme proposta neste trabalho leva a bons resultados.

As curvas referentes ao vigor da semente seguem um mesmo comportamento que as curvas referentes ao percentual germinativo, porém, se mostram mais sensíveis ao processo de secagem, ou seja, a secagem atua decisivamente no poder de emergência e florescência da semente.

Durante o primeiro aquecimento das sementes é quando, possivelmente, ocorrem os maiores gradientes internos de umidade e de temperatura, comprometendo, dessa maneira a qualidade fisiológica das sementes.

Por outro lado, observou-se uma queda nos índices de germinação e de vigor no período inicial de estocagem, até 1000 minutos (1,6h), e mantendo-se praticamente constante a partir de então, o que pode ser visualizado mediante inspeção das Figuras 4.9 a 4.11.

Fazendo-se uma comparação entre as Figuras 4.9 e 4.10 pode-se verificar a influência da carga úmida de sólidos. Quanto menor a carga úmida de sólidos, há um decréscimo nos índices de qualidade fisiológica. Isto ocorre em virtude de se aumentar a cinética de secagem, a qual é potencializada pelos gradientes internos de umidade e de temperatura. Comparando-se as Figuras 4.9 e 4.11 observa-se que o aumento da umidade da semente provoca maior queda nos percentuais de germinação e de vigor, o que era de se esperar, pois, há o aumento da força motriz à retirada da umidade da semente, e isto propicia o aumento das tensões interna à semente, comprometendo a sua qualidade fisiológica.

Uma visualização clara das condições favoráveis a redução dos índices de germinação e de vigor pode ser feita com a comparação do percentual de redução desses índices para cada ensaio.

A Tabela 4.4 apresenta resultados advindos dos testes de qualidade referentes à germinação e ao vigor das sementes, sendo que a redução percentual da qualidade fisiológica é definida pela razão:

$$\% Re = \frac{(\text{valor inicial} - \text{valor final})}{\text{valor inicial}} \times 100\% \quad (4.3)$$

Os valores apresentados na Tabela 4.4 vêm confirmar a análise gráfica efetuada anteriormente.

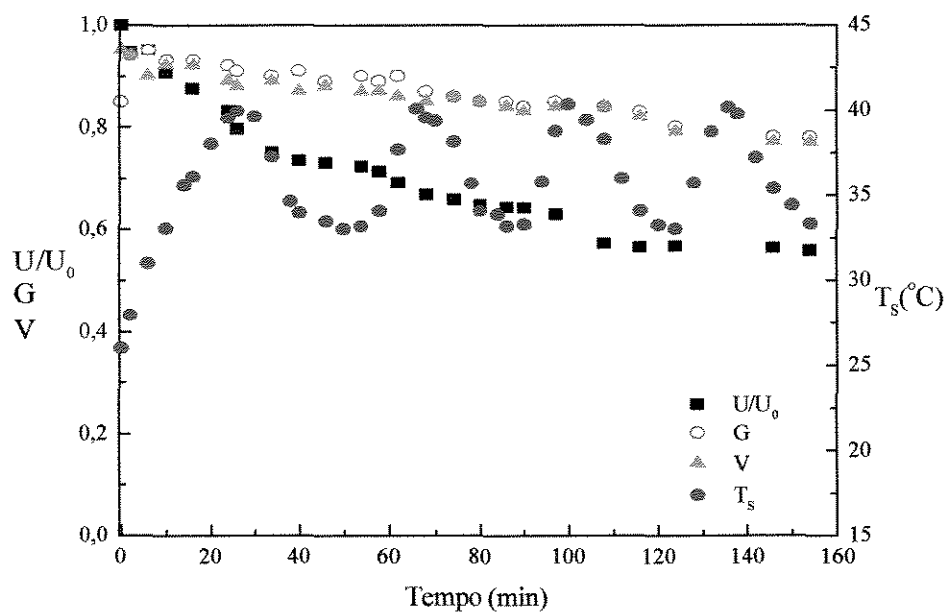
Tabela 4.4 - Alteração nos índices de germinação e de vigor devido ao processo de secagem.

Condições de Operação						
T (°C)	W ₀ (kg)	U ₀ (b.u.)	Q/Q _{jm}	T _{s0} (°C)	Re Germinação (%)	Re Vigor (%)
60	5	0,21	1,55	27	6,31	9,57
60	10	0,21	1,87	26	6,31	8,42
60	5	0,26	1,56	27	10,41	11,58

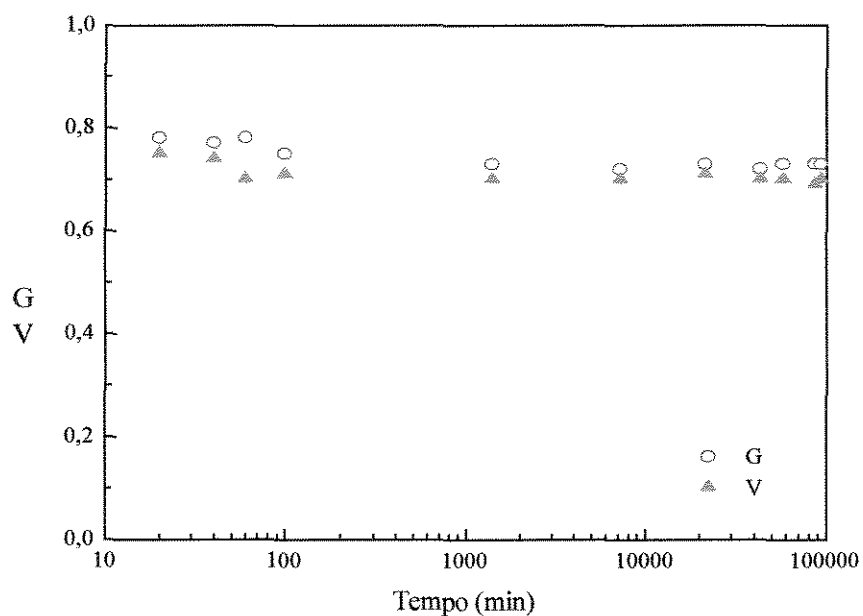
Tabela 4.5 - Alteração nos índices de germinação e de vigor devido ao processo de armazenamento.

Condições de Operação						
T (°C)	W ₀ (kg)	U ₀ (b.u.)	Q/Q _{jm}	T _{s0} (°C)	Re Germinação (%)	Re Vigor (%)
60	5	0,21	1,55	27	4,50	4,65
60	10	0,21	1,87	26	5,06	4,02
60	5	0,26	1,56	27	2,90	4,71

Procurando fazer uma análise da influência da temperatura da semente, foram realizados ensaios em que o término da secagem acontecia quando a semente atingisse a temperatura de 40°C. A Figura 4.12 representa um ensaio realizado nessa condição. No período do primeiro aquecimento, nota-se que não houve diferenças nos índices de germinação e de vigor se compararmos com os ensaios representados nas Figuras anteriores. Após esse período, porém, a queda nos índices de qualidade fisiológica ocorreu de maneira mais acentuada que nos demais ensaios.



(a)



(b)

Figura 4.12 - Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura da sementes, poder de germinação e vigor
 $T=40^{\circ}\text{C}$; $W_0=5\text{kg}$; $U_0=0,21$; $Q/Q_{im}=1,74$; $T_{s0}=26^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.

Cabe ressaltar que o ensaio representado na Figura 4.12 foi realizado com menor carga úmida de sólidos, o que seria outro agravante para a qualidade fisiológica das sementes. Demais ensaios feitos nessas condições podem ser encontrados no Apêndice A.

A partir desse experimento fica evidente a influência da temperatura da semente na qualidade fisiológica da mesma. Observa-se que a temperatura da semente não deve ultrapassar os 35°C quando nas condições desse trabalho, corroborando com (Ramos, 1985).

Para melhor avaliar a influência das condições de secagem na qualidade fisiológica (análise quantitativa), recorreu-se ao tratamento estatístico a partir do planejamento fatorial citado no Capítulo 3. A Tabela 3.2 apresenta os experimentos determinados pelo planejamento fatorial fracionário com o índice de germinação e de vigor, utilizados como resposta. A Tabela 4.6 e 4.7 fornecem os resultados dos efeitos das variáveis de operação e suas interações na resposta para a qualidade da semente em termos de germinação, vigor, respectivamente.

Tabela 4.6 - Efeitos das variáveis e suas interações: germinação.

G_f	T	W_0	U_0	Q/Q_{jm}	TW_0	TU_0	TQ/Q_{jm}	W_0U_0	W_0Q/Q_{jm}	U_0Q/Q_{jm}
0,8898	-0,430	0,0305	0,022	-0,0175	0,0300	0,0295	-0,0230	0,0300	0,0295	-0,0230

Tabela 4.7 - Efeitos das variáveis e suas interações: vigor.

V_f	T	W_0	U_0	Q/Q_{jm}	TW_0	TU_0	TQ/Q_{jm}	W_0U_0	W_0Q/Q_{jm}	U_0Q/Q_{jm}
0,8771	-0,012	0,005	-0,0002	-0,0013	-0,0078	0,0013	0,0088	0,0088	-0,0013	-0,0078

Os ensaios em duplicata possibilitaram a obtenção de uma estimativa da variância experimental e dos erros padrão de cada efeito. A partir desses valores, utilizou-se um teste estatístico t de "student", para determinar em nível

de 90% de confiança e grau de liberdade 2, quais os efeitos que são realmente significativos, (Barros Neto, Scarmínio e Bruns, 1995). Os efeitos mais significativos foram: a carga úmida de sólidos (W_0), a interação entre a temperatura do ar de secagem e a umidade inicial da semente (TU_0), a interação entre a carga úmida e a umidade inicial das sementes (W_0U_0) e entre a relação da vazão e vazão de jorro estável (W_0Q/Q_{jm}). Nota-se que a variável temperatura do ar de secagem por si só não apresenta muita influência, porém, sua interação com demais variáveis não pode ser desprezada.

Baseando-se nos testes realizados anteriormente, pode-se propor os seguintes modelos para os índices de germinação e de vigor, respectivamente, após o período final da secagem em um leito de jorro cônico com ciclos de resfriamento nas condições propostas:

$$G_f = 0,8898 - 0,240T + 0,0152W_0 + 0,0150TW_0 + 0,0110U_0 + 0,0148TU_0 + 0,0215W_0U_0 + 0,03W_0Q/Q_{jm} \quad (4.4)$$

$$V_f = 0,8771 - 0,112T + 0,0026W_0 - 0,001U_0 + 0,0006TU_0 - 0,0039TW_0 + 0,044W_0U_0 - 0,006Q/Q_{jm} + 0,0013W_0Q/Q_{jm} \quad (4.5)$$

Essa modelagem empírica obtida a partir dos efeitos calculados no planejamento fatorial, relaciona a resposta do processo com as variáveis analisadas, notando-se a influência da carga úmida de sólidos e das interações carga úmida de sólidos com umidade inicial e umidade inicial das sementes com a temperatura do ar de secagem.

Para complementar a abordagem realizada a partir do cálculo dos efeitos, o mesmo procedimento foi tomado usando a constante cinética global de secagem (α) e a constante cinética de aquecimento da semente da semente (β) como respostas para o planejamento fatorial. Da mesma forma, obteve-se a

estimativa dos efeitos para as variáveis de secagem. A Tabela 4.8 e 4.9 fornecem os efeitos das variáveis de secagem e suas interações na constante cinética global de secagem e constante cinética de aquecimento, respectivamente.

Tabela 4.8 - Efeitos das variáveis e suas interações: constante cinética global de secagem.

α_f	T	W_0	U_0	Q/Q_{jm}	TW_0	TU_0	TQ/Q_{jm}	W_0U_0	W_0Q/Q_{jm}	U_0Q/Q_{jm}
0,0287	0,0036	-0,0011	0,0121	-0,0061	-0,0058	-0,0014	0,0230	0,002	0,0014	0,0230

Tabela 4.9 - Efeitos das variáveis e suas interações: constante cinética de aquecimento da semente.

β	T	W_0	U_0	Q/Q_{jm}	TW_0	TU_0	TQ/Q_{jm}	W_0U_0	W_0Q/Q_{jm}	U_0Q/Q_{jm}
0,0390	0,046	-0,0034	0,0128	-0,0141	0,0114	-0,0053	0,0018	0,0017	0,005	-0,0018

Os seguintes modelos foram propostos para as constantes cinética de secagem e aquecimento, respectivamente:

$$\alpha = 0,0287 + 0,0018T - 0,0005W_0 + 0,0029TW_0 + 0,0061U_0 - 0,0007TU_0 + 0,0009W_0U_0 - 0,0030Q/Q_{jm} \quad (4.6)$$

$$\beta = 0,0428 + 0,0268T - 0,0021W_0 + 0,0020TW_0 + 0,0027U_0 - 0,0011TU_0 + 0,0029W_0U_0 - 0,0033Q/Q_{jm} \quad (4.7)$$

A partir dos efeitos das variáveis na constante cinética global de secagem, pode-se observar que diminuindo a carga úmida de sólidos há um aumento da cinética de secagem e conseqüentemente uma diminuição da qualidade fisiológica das sementes, conforme foi verificado mediante análise gráfica.

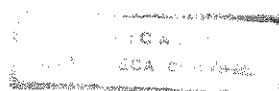
Em se tratando do efeito da temperatura do ar de secagem, é possível avaliar a influência dessa variável a partir do cálculo da constante cinética de secagem. Nota-se que o aumento da temperatura do ar de secagem influi diretamente na constante cinética (Tabela 4.8) e consequentemente, é observado uma queda nos índices de qualidade fisiológica da semente de arroz. Mediante o tratamento estatístico realizado para germinação e vigor, foi notado a significância apenas nas interações da temperatura com as demais variáveis, menosprezando seu efeito único. A partir da análise gráfica, fica confirmado o efeito da temperatura do ar de secagem.

4.3 - ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CINÉTICA DE SECAGEM COM CICLOS DE RESFRIAMENTO NA QUALIDADE FÍSICA DAS SEMENTES DE ARROZ

4.3.1 - QUEBRA

Tendo em vista estabelecer o grau de injúria mecânica que a semente sofre durante o processo de secagem, assim como uma relação do efeito causado pelo surgimento de fissuras no endosperma, optou-se pela análise de quebra na semente. Esta análise foi realizada computando o rendimento de sementes inteiras.

O percentual de quebra foi observado utilizando-se a técnica descrita no Capítulo 3, durante o período de secagem, e até uma semana após o experimento, a fim de verificar o comportamento da semente durante o armazenamento.



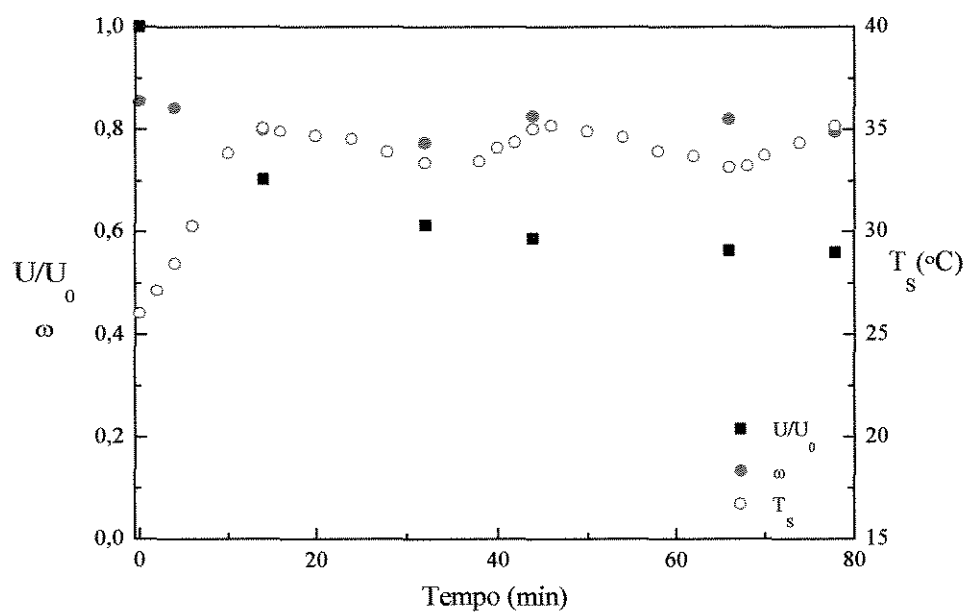
Antes de definir o total de três ciclos de resfriamento num intervalo de 20min fez-se uma análise da qualidade fisiológica das sementes, optou-se em fazer uma análise da qualidade física nas mesmas condições.

As Figuras a seguir mostram os resultados de parte dos experimentos, sendo o restante encontrado no Apêndice B. As Figuras (a) referem-se ao período de secagem, enquanto as (b) ao período de armazenamento. Os gráficos são apresentados com o tempo na abcissa, enquanto na ordenada estão as variáveis: rendimento de sementes inteiras, umidade adimensional em base úmida e evolução da temperatura da semente de arroz.

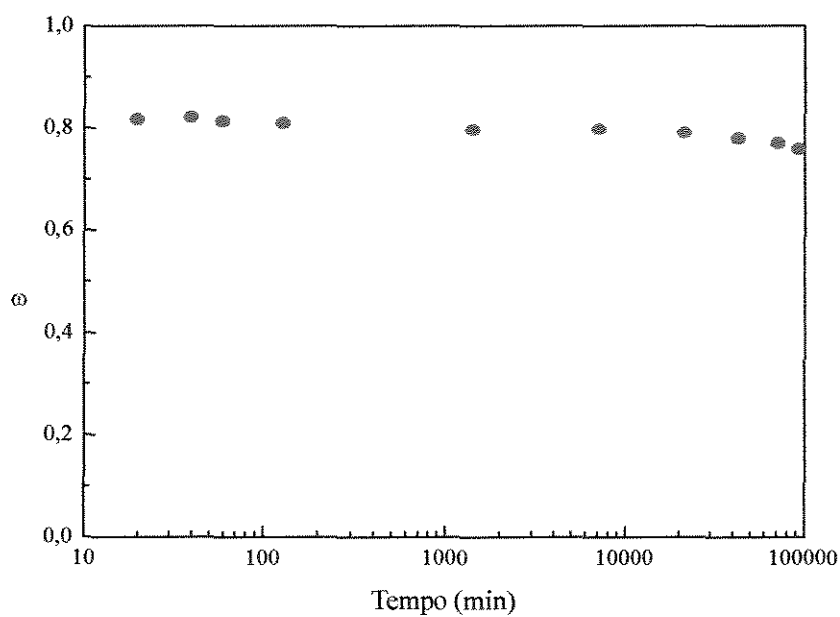
Verifica-se que a quebra das sementes tende a um aumento com a utilização de ciclos de resfriamento, conforme foi observado por Lima(1997). Na Figura 4.13 em que há dois ciclos de resfriamento com duração de 20min, observa-se menor quebra que demais ensaios em que estabeleceu um total de três ciclos de resfriamento. Evidencia-se também que a taxa de quebra ocorre mais significativamente no período pós secagem, ou seja, durante o armazenamento, até mais de uma semana, permanecendo praticamente constante logo após.

Mediante as Figuras 4.13 a 4.15, observa-se que a secagem realizada com ciclos de resfriamento com intervalos de tempo mais curtos obtiveram menor taxa de quebra. Este resultado pode ser devido às grandes variações de temperatura nas sementes, somado à redução da umidade no interior das mesmas, aliado ao fato de que o aumento do período de resfriamento implica em aumento do tempo de permanência das sementes no equipamento, propiciando assim maiores danos mecânicos.

Figuras a partir de 4.15 referem-se à secagem realizada com três ciclos de resfriamento com duração de 20min cada ciclo. Por intermédio dessas

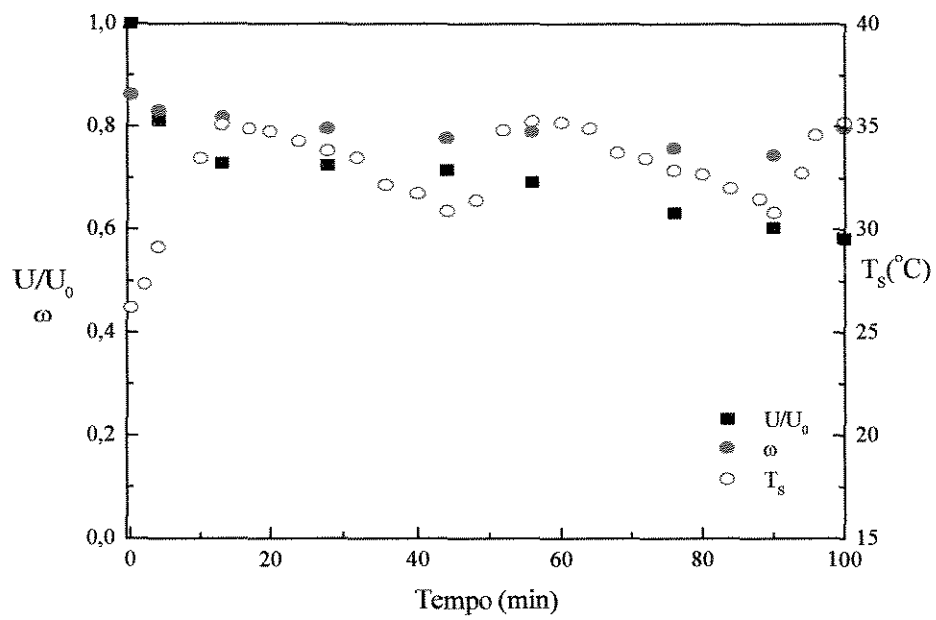


(a)

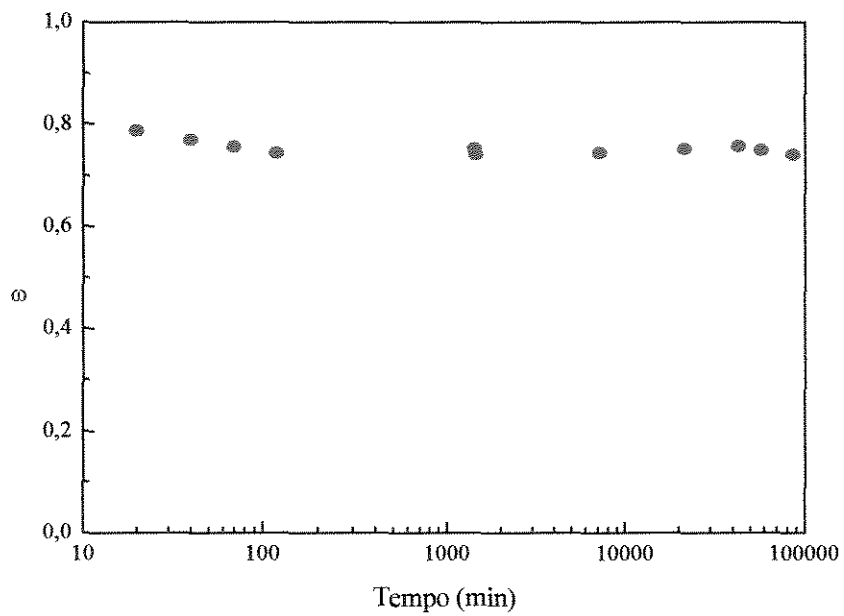


(b)

Figura 4.13 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente e rendimento
 $T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,259$; $Q/Q_{jm}=1,49$; $T_{s0}=26^{\circ}\text{C}$; $n=2$; $t_c=20\text{min}$.

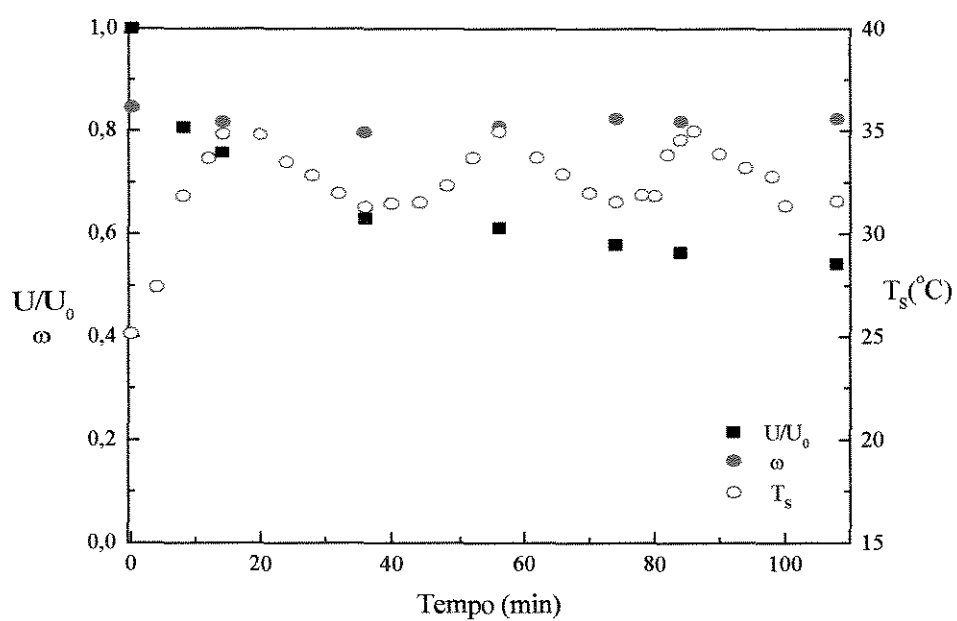


(a)

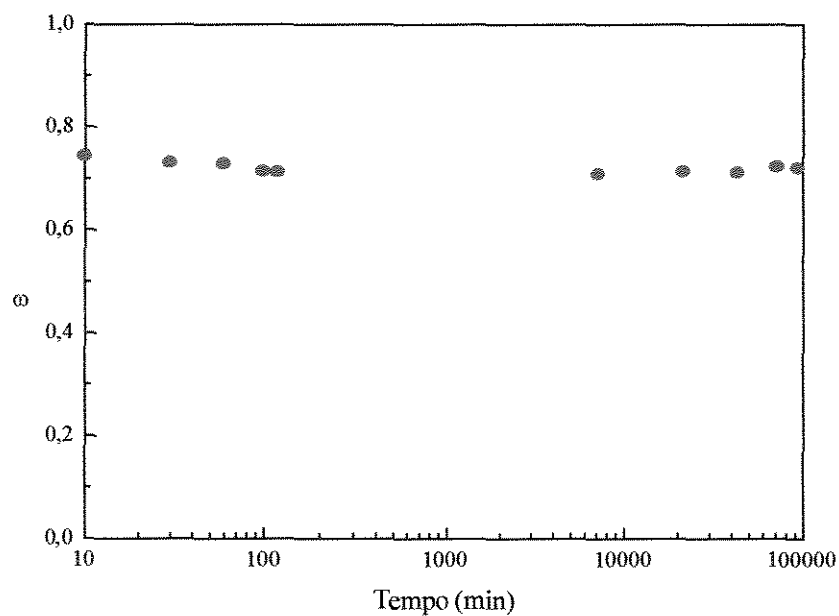


(b)

Figura 4.14- Curvas de variação da umidade, temperatura da semente e rendimento
 $T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,251$; $Q/Q_{\text{im}}=1,52$; $T_{s0}=26^{\circ}\text{C}$; $n=2$; $t_c=30\text{min}$.



(a)



(b)

Figura 4.15- Curvas de variação da umidade, temperatura da semente e rendimento
 $T=40^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,25$; $Q/Q_{\text{im}}=1,52$; $T_{s0}=25^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.

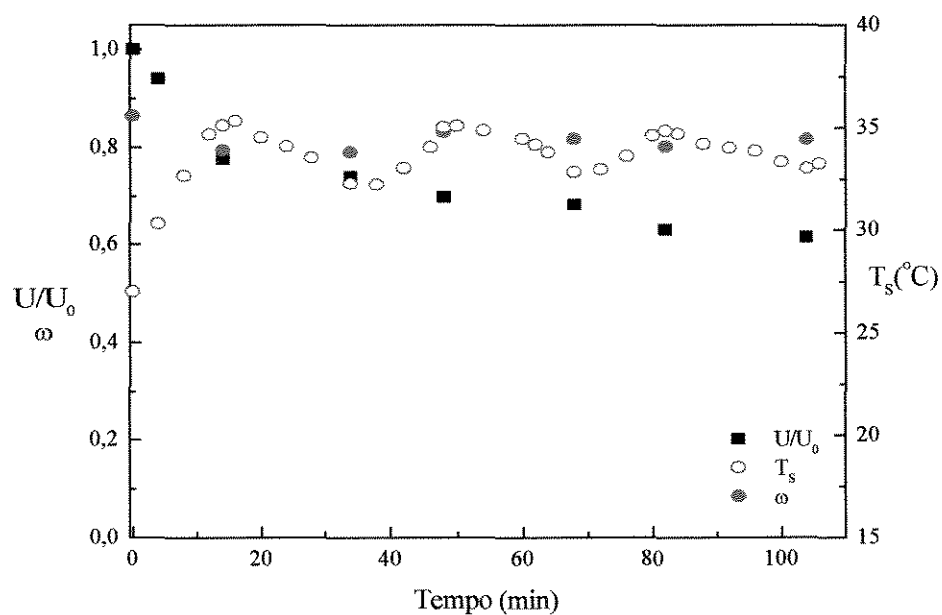
Figuras, nota-se que como na análise fisiológica, as sementes comportam-se de maneira padrão no que diz respeito ao rendimento, que mantém praticamente o mesmo percentual de quebra encontrado no início da secagem. Como os índices de germinação e vigor, no final há uma tendência de quebra dependendo das condições operacionais, confirmando a constatação feita por Faria (1997).

É interessante ressaltar que ao contrário dos índices de germinação e de vigor, o rendimento não sofre decréscimo no início da secagem, ele se mantém praticamente constante durante quase toda essa operação. Comparando as Figuras 4.16 e 4.17, como na qualidade fisiológica, observa-se a influência da carga úmida de sólidos. No ensaio esquematizado na Figura 4.16, obteve-se menores percentagens de rendimento que no ensaio representado na Figura 4.17. Esse fato foi confirmado por meio do tratamento estatístico. Por intermédio da Figura 4.18, nota-se a influência da umidade inicial do produto na fração de sementes inteiras.

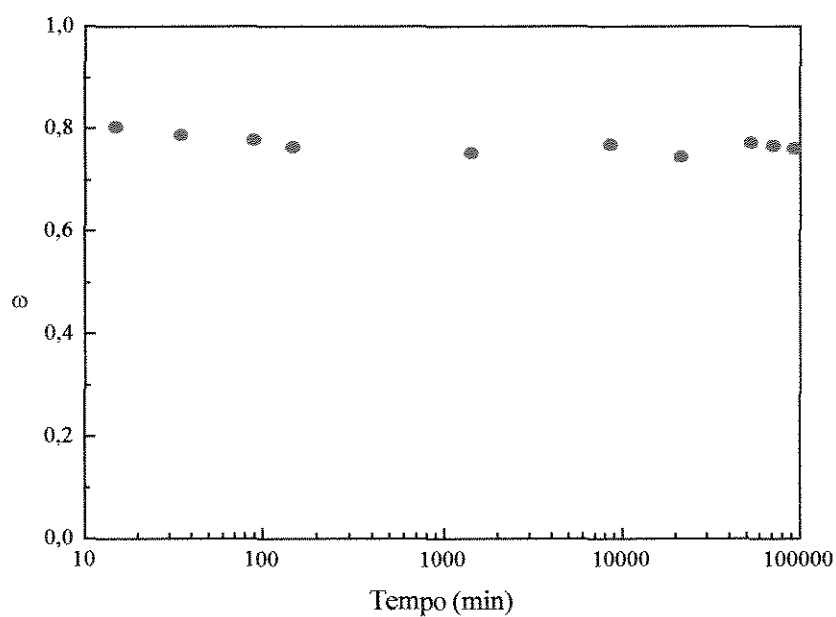
A influência das variáveis de secagem na qualidade física das sementes de arroz expressa em termos de rendimento de inteiros é avaliada mediante análise quantitativa, recorrendo-se como na seção anterior ao tratamento estatístico, confirmando a análise gráfica. A Tabela 4.10 fornece os resultados dos efeitos das variáveis de operação e suas interações na resposta para a qualidade em termos de percentual de inteiros.

Tabela 4.10 - Efeitos das variáveis e suas interações: rendimento.

of	T	W ₀	U ₀	Q/Q _{jm}	TW ₀	TU ₀	TQ/Q _{jm}	W ₀ U ₀	W ₀ Q/Q _{jm}	U ₀ Q/Q _{jm}
0,7846	-0,009	0,0148	-0,0077	-0,0178	-0,0008	0,0028	0,0068	0,0068	0,0028	-0,0008



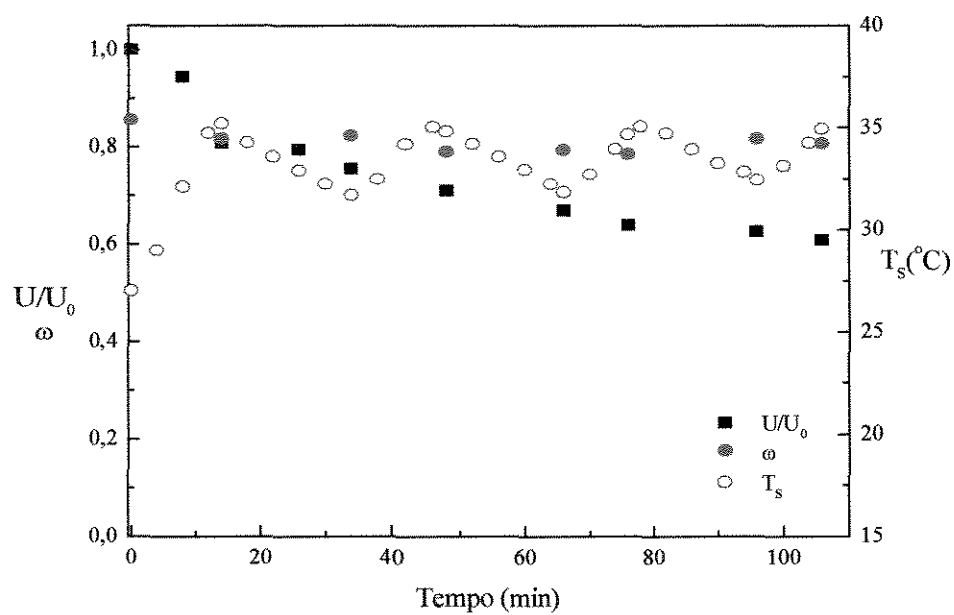
(a)



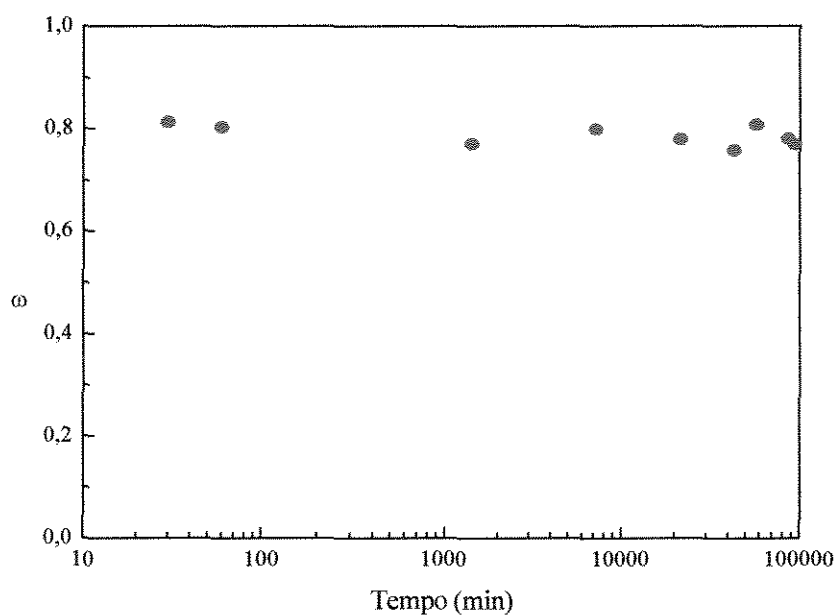
(b)

Figura 4.16 Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura da sementes, e rendimento

$T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=5\text{kg}$; $U_0=0,21$; $Q/Q_{\text{im}}=1,55$; $T_{s0}=27^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



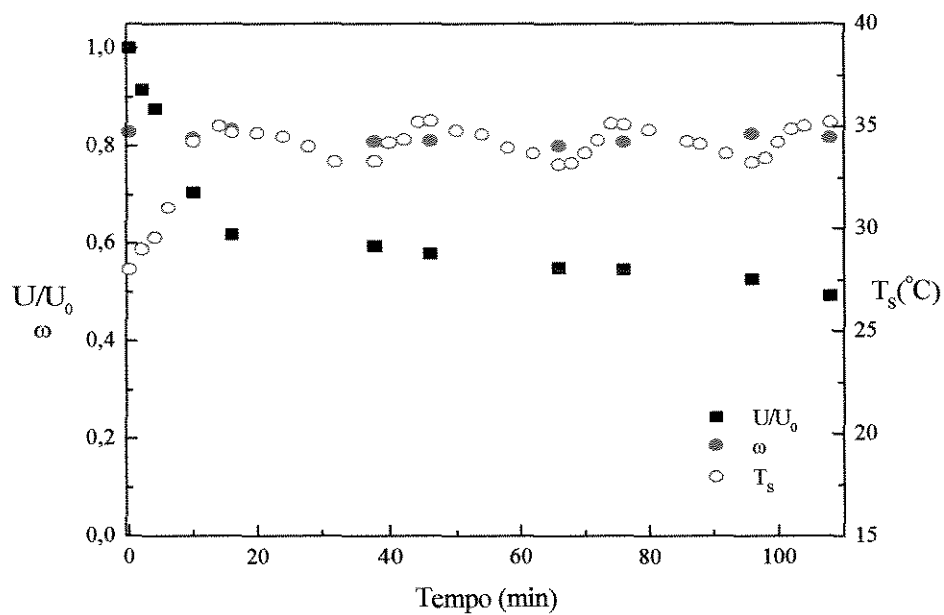
(a)



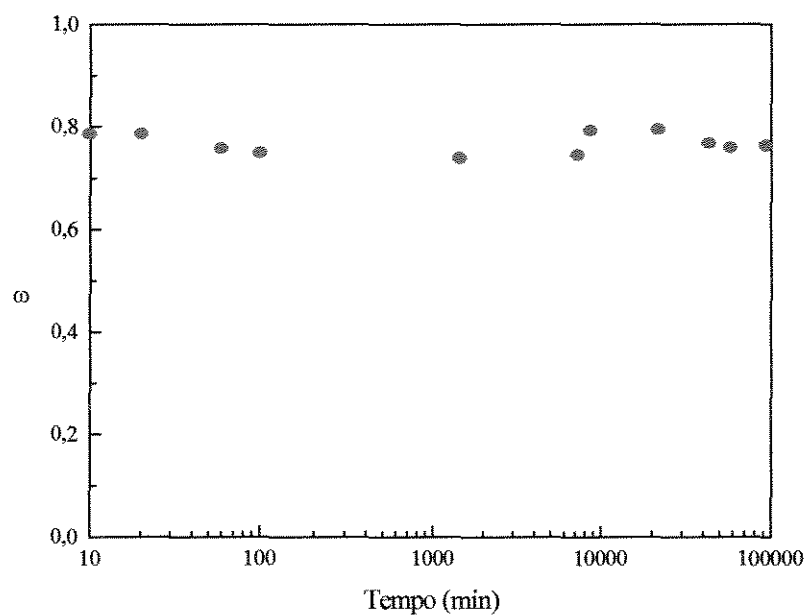
(b)

Figura 4.17 - Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura da semente e rendimento

$T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,21$; $Q/Q_{im}=1,87$; $T_{s0}=26^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



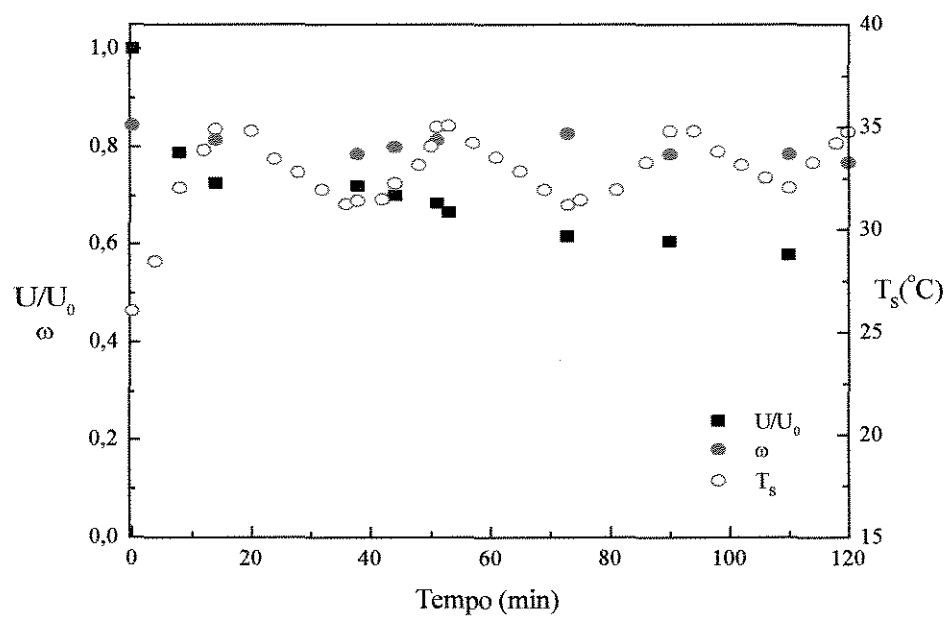
(a)



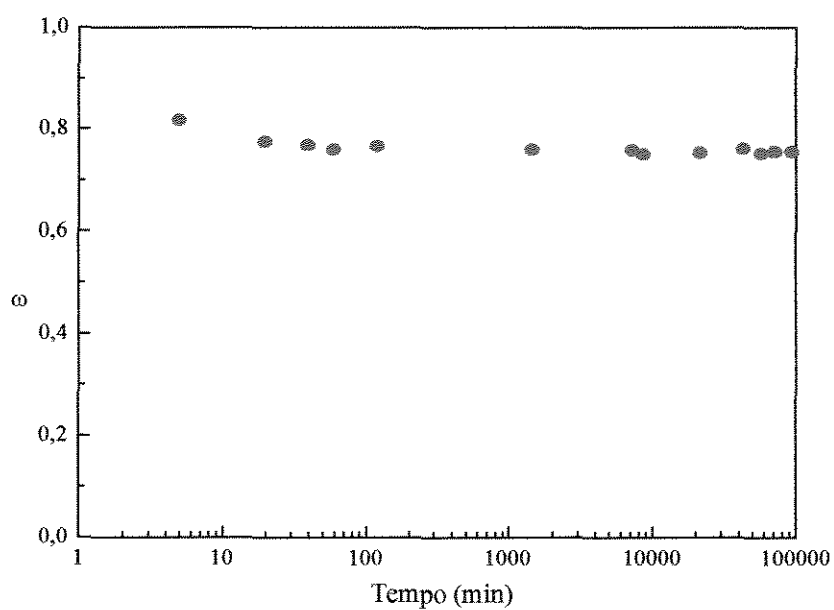
(b)

Figura 4.18 - Curvas de variação da umidade adimensional, temperatura da semente e rendimento

$T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=5\text{kg}$; $U_0=0,26$; $Q/Q_{\text{im}}=1,56$; $T_{s0}=27^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



(a)



(b)

Figura 4.19 - Curvas de variação da unidade adimensional, temperatura da semente e rendimento

$T=40^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,25$; $Q/Q_{\text{im}}=1,52$; $T_{s0}=26^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.

E o modelo proposto é:

$$\omega_f = 0,7846 - 0,0046T + 0,0074W_0 - 0,0039U_0 - 0,0089Q/Q_{jm} - 0,0004TW_0 + 0,0014TU_0 + 0,0034W_0Q/Q_{jm} \quad (4.9)$$

4.3.2 - FISSURAS

As fissuras foram observadas somente em sementes descascadas e sua ocorrência nas mesmas foi verificada utilizando-se a técnica descrita no Capítulo 3, durante o período de secagem e armazenamento.

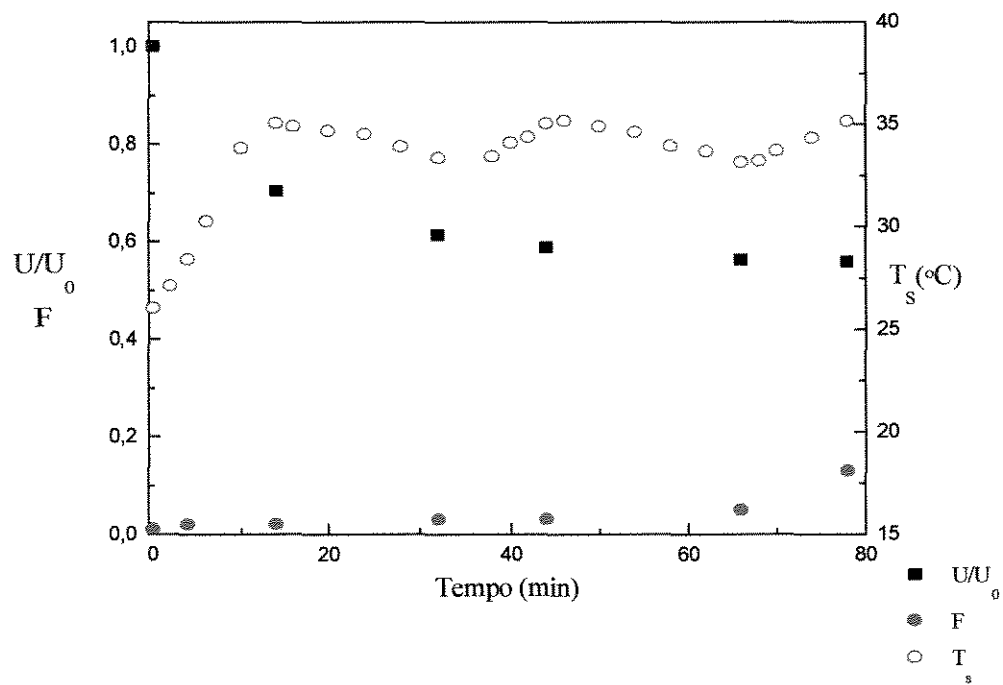
Observou-se as características morfológicas das sementes fissuradas, de forma a relacioná-las qualitativamente com as condições de operação e o tempo de tratamento.

Foi anotado o número inicial de sementes fissuradas bem como de sementes que fissuravam ao longo do período de secagem. Esse número foi expresso por:

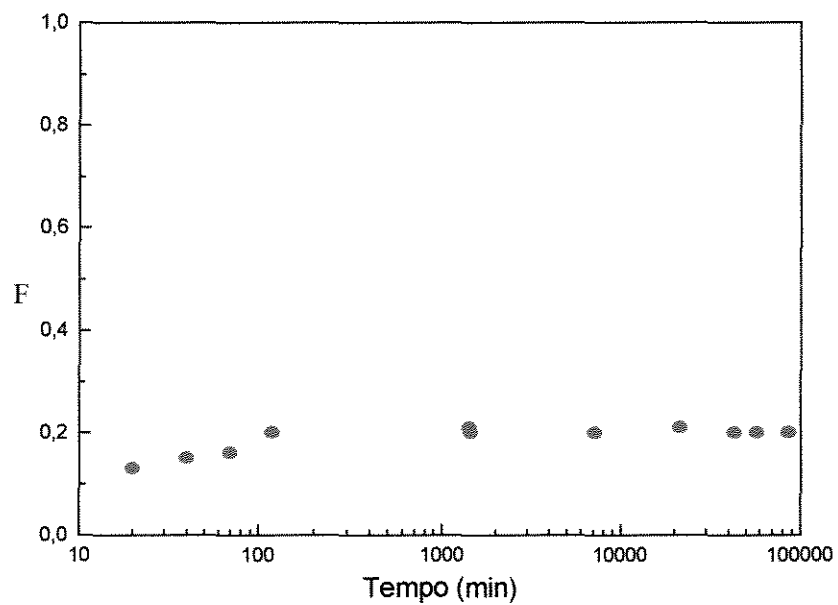
$$F = \frac{\text{numero de sementes fissuradas}}{\text{numero de sementes descascadas (100)}} \quad (4.10)$$

De posse destes valores, podemos relacionar a ocorrência das fissuras com o tempo de secagem, com as variáveis do processo e com as características da semente.

As Figuras apresentadas a seguir mostram os resultados de parte dos experimentos, em que o tempo é apresentado na abcissa, enquanto na ordenada

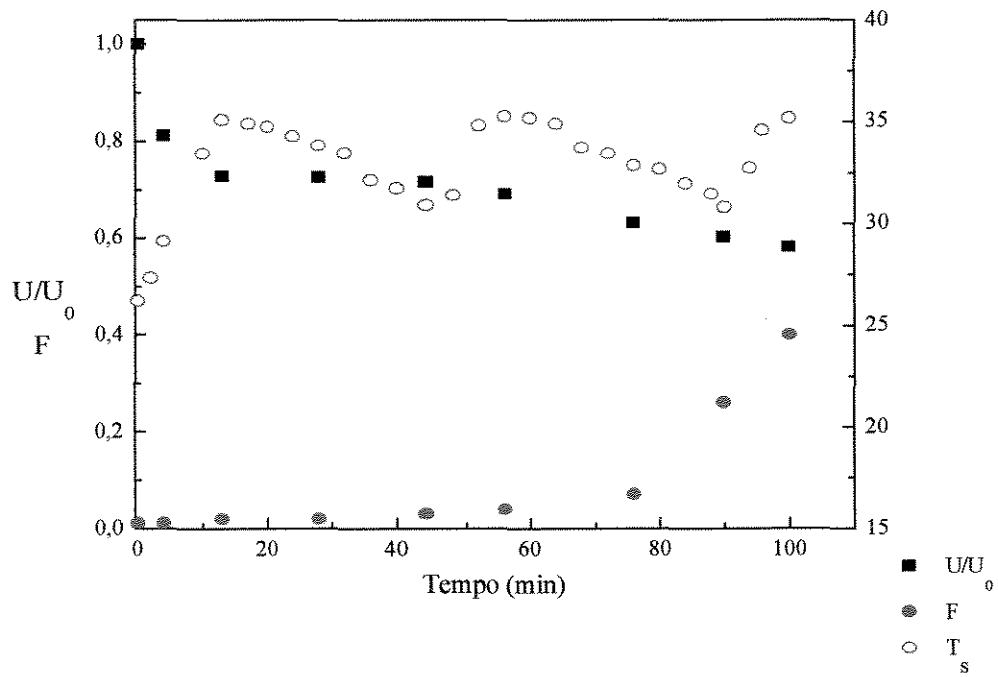


(a)

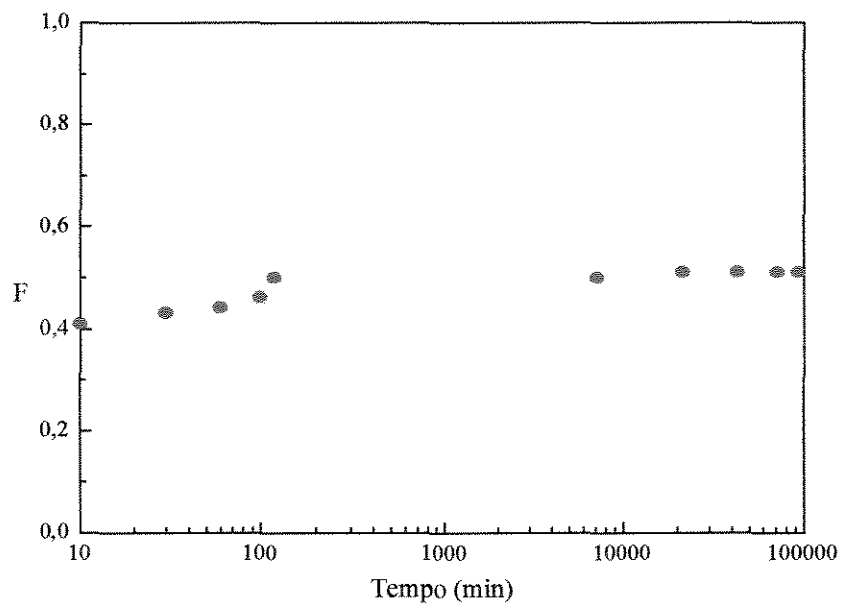


(b)

Figura 4.20 - Curvas de variação do percentual de sementes fissuradas, umidade adimensional em base úmida e temperatura da semente
 $T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,259$; $Q/Q_{\text{im}}=1,49$; $T_{s0}=26^{\circ}\text{C}$; $n=2$; $t_c=20\text{min}$.



(a)



(b)

Figura 4.21 - Curvas de variação do percentual de sementes fissuradas, umidade adimensional em base úmida e temperatura da semente

$T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,251$; $Q/Q_{\text{im}}=1,52$; $T_{S0}=26^{\circ}\text{C}$; $n=2$; $t_c=30\text{min}$.

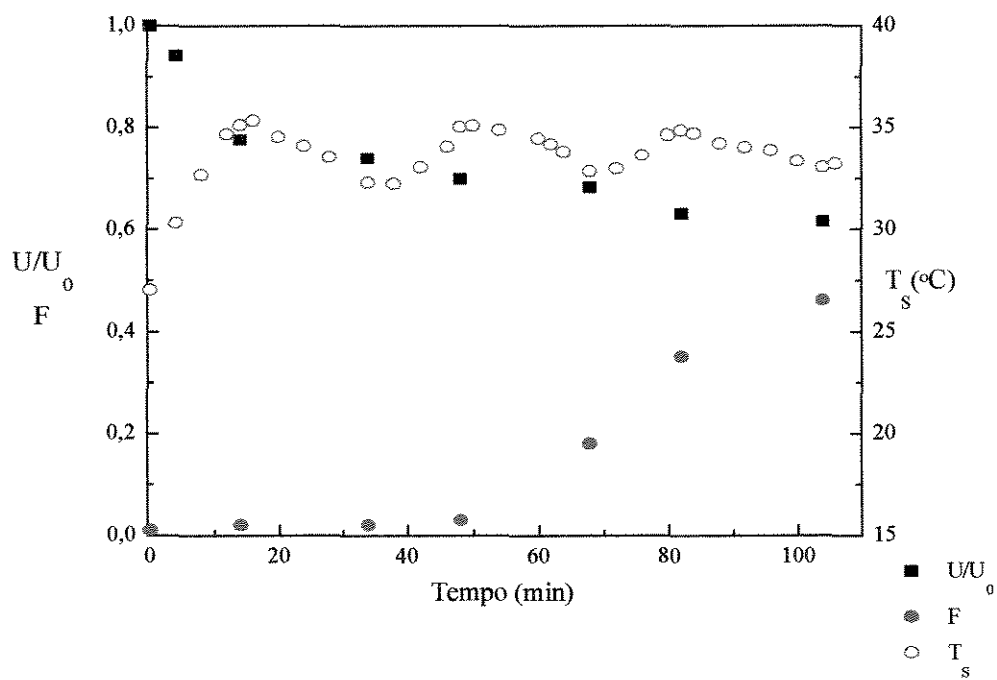
estão as variáveis: umidade adimensional em base úmida, percentagem de sementes fissuradas e temperatura da semente. As Figuras (a) referem-se ao processo de secagem, enquanto as (b) referem-se ao período pós-secagem.

O aumento do tempo de exposição das sementes no secador ocasionou um aumento de sementes fissuradas. O número de fissuras contidas nas sementes foi baixo, considerado dentro de uma faixa normal, visto que algumas fissuras já vêm de fatores genéticos. Durante o período de armazenamento observou-se que as fissuras aparecem nos primeiros instantes após o término da secagem. As fissuras aparecem quando boa parte da umidade já foi retirada. O cereal estando mais seco e mais quente fica sujeito à injúrias mecânicas com mais facilidade. Ademais, pode-se verificar que sementes fissurada não levam, necessariamente à quebra da semente. Esta constatação corrobora àquela feita por Henderson (1958).

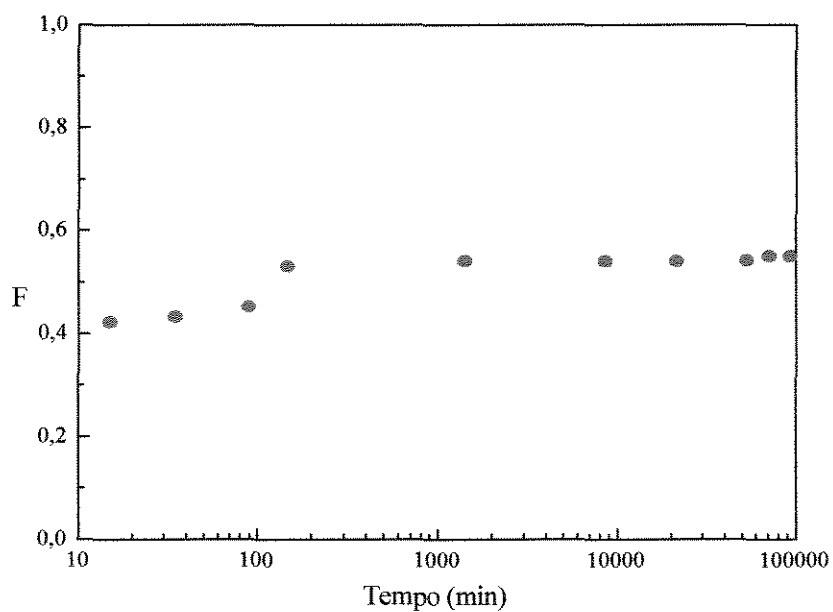
As sementes apresentaram-se fissuradas de maneiras distintas, de acordo com a variação da umidade na semente. As fissuras iniciaram-se longitudinalmente, sendo menor a quantidade de fissuras transversais. As fissuras transversais apareceram em maior número durante o período de armazenamento.

No final do ensaio utilizando ciclos de resfriamento com 30min de intervalo, as sementes apresentavam-se fissuradas em cerca de 50% do seu volume, com pequenas e múltiplas fissuras longitudinais e transversais.

A seguir, nas Figuras 4.22 e 4.23, observa-se um aumento do número de sementes fissuradas durante o período de secagem e durante o armazenamento esse aumento só é verificado nos primeiros instantes, permanecendo constante depois disso. Não foi possível estabelecer um padrão morfológico para as

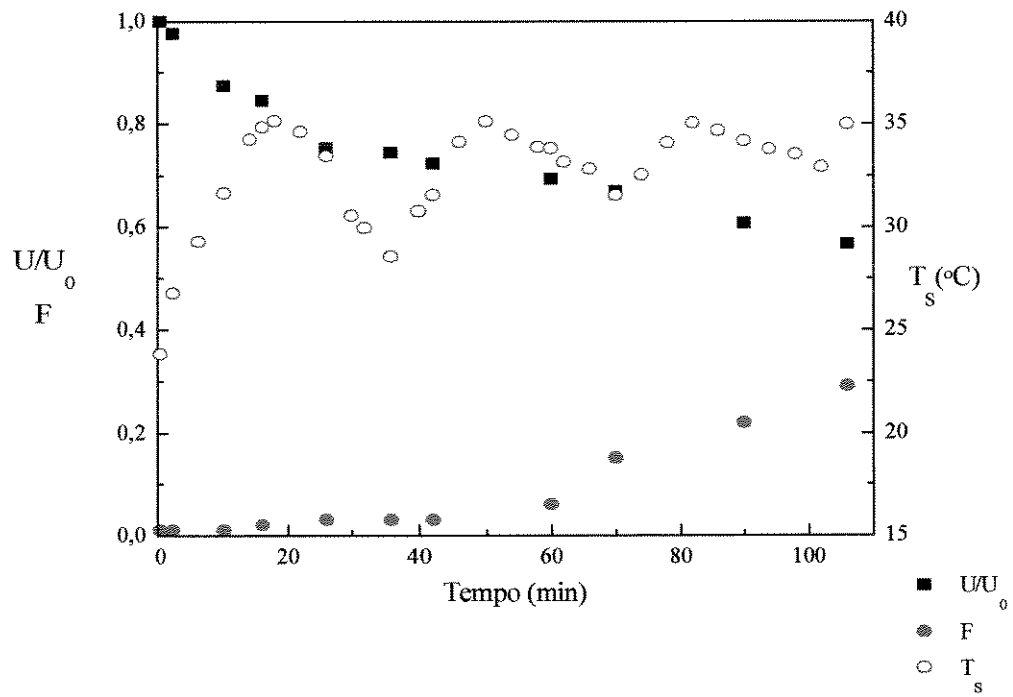


(a)

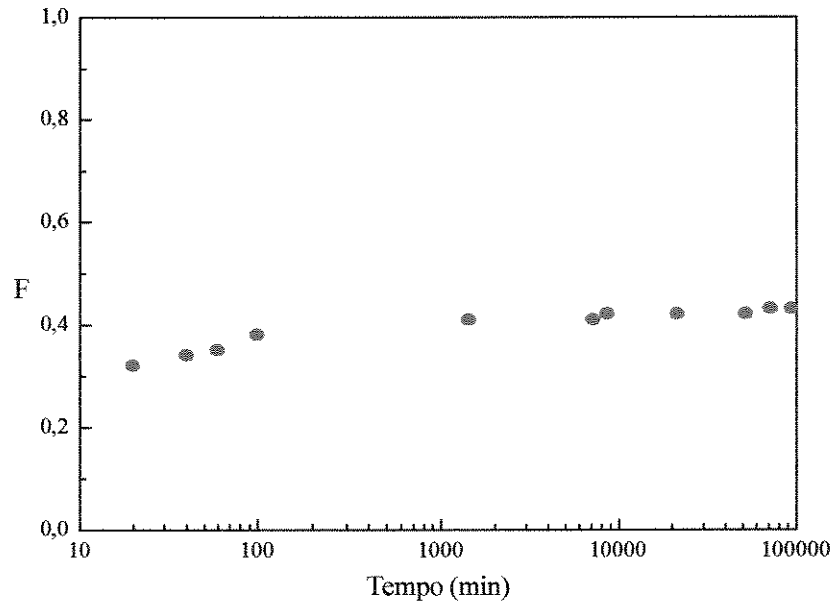


(b)

Figura 4.22 - Curvas de variação do percentual de sementes fissuradas, umidade adimensional em base úmida e temperatura da semente
 $T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=5\text{kg}$; $U_0=0,21$; $Q/Q_{\text{im}}=1,55$; $T_{s0}=27^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



(a)



(b)

Figura 4.23 - Curvas de variação do percentual de sementes fissuradas, umidade adimensional em base úmida e temperatura da semente
 $T=40^{\circ}\text{C}$; $W_0=5\text{kg}$; $U_0=0,21$; $Q/Q_{im}=1,50$; $T_{S0}=24^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.

sementes fissuradas, ora as sementes apresentavam fissuradas longitudinalmente, ora transversalmente.

Observando as Figuras 4.22 e 4.23 nota-se uma certa influência da temperatura do ar de secagem. Com seu aumento houve também um acréscimo do número de sementes fissuradas. Cabe ressaltar que no ensaio da Figura 4.23 apesar do número de fissuras ter sido menor que na Figura 4.22 em que foi utilizado maior temperatura do ar de secagem, as fissuras se apresentaram em maior parte transversais, que são fissuras mais propícias de levar a semente à quebra.

A análise da qualidade física permitiu verificar que apesar de ser constatado o surgimento de fissuras e quebra nas sementes, essas se apresentaram com boa qualidade fisiológica, ou seja, as injúrias mecânicas computadas nas sementes de arroz após o processo de secagem em leito de jorro cônico nas condições operacionais realizadas nessa dissertação não afetaram a germinação e o vigor das sementes.

A constatação da análise gráfica é feita mediante tratamento estatístico conforme foi realizado para a qualidade fisiológica da semente. Da mesma forma, a Tabela 4.11 apresenta a estimativa dos efeitos das variáveis de secagem e suas interações tendo como resposta o percentual de sementes fissuradas.

Tabela 4.11 - Efeitos das variáveis e suas interações: percentagem de fissuras

F_f	T	W_0	U_0	Q/Q_{jm}	TW_0	TU_0	TQ/Q_{jm}	W_0U_0	W_0Q/Q_{jm}	U_0Q/Q_{jm}
0,2725	-0,679	0,9853	0,59265	-0,0211	-0,5325	0,0480	0,02112	0,1679	0,0480	-0,02112

E o modelo proposto é:

$$F_f = 0,2725 - 0,0388T + 0,049W_0 + 0,0296U_0 - 0,0089Q/Q_{jm} - 0,266TW_0 \\ + 0,0024TU_0 + 0,0084W_0U_0 - 0,0011U_0Q/Q_{jm} \quad (4.11)$$

Os efeitos mais significativos, como para os índices de qualidade fisiológica foram: a carga úmida de sólidos (W_0), sua interação entre a temperatura do ar de secagem e umidade inicial da semente. Nota-se que nesse caso, a temperatura do ar de secagem tem influência no percentual de sementes fissuradas e da mesma maneira, sua interação com demais variáveis de operação.

Utilizando a análise do percentual de sementes fissuradas, é possível completar o estudo de quebra realizado anteriormente. Observando que as fissuras ocorrem apenas no período inicial do armazenamento, pode-se explicar o fato de no final da estocagem verificar uma tendência de quebra nas sementes. A quebra pode ter sido ocasionada devido ao equipamento utilizado no seu beneficiamento, visto que a quebra é uma consequência do surgimento de fissuras.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 - CONCLUSÕES

O presente trabalho permitiu verificar que a secagem de sementes de arroz em leito de jorro cônico com utilização de ciclos de resfriamento, nas situações estudadas, é possível desde que controlada as condições de operação do secador.

O uso de sementes recém-colhidas (umidade em torno de 26%) faz com que a semente submetida à secagem em leito de jorro cônico atinja rapidamente a temperatura limite de 35°C, sem retirada suficiente da umidade para um armazenamento seguro.

Os índices de qualidade fisiológica (germinação e vigor) mantiveram-se dentro dos padrões fornecidos pelo Ministério da Agricultura (acima de 80%), durante e após a secagem com ciclos de resfriamento.

Chegou-se a um total de três ciclos com 20 min de duração, como sendo o mais adequado para remoção da umidade das sementes de arroz em níveis de 13% (base úmida). Os ensaios permitiram observar que mesmo durante o resfriamento (diminuição da temperatura do ar de secagem), houve remoção de umidade.

As variáveis do processo: temperatura do ar de secagem, carga úmida de sólidos, vazão e umidade inicial das sementes, influenciam a cinética de secagem. Tanto o percentual de quebra quanto a cinética de secagem de sementes de arroz são alterados ao adotar ciclos de resfriamento. O mesmo vale para os índices de qualidade fisiológica.

Quanto menor a carga úmida de sólidos, maior o percentual de redução de germinação e de vigor. Quanto maior a temperatura do ar de secagem e umidade inicial do produto, maior será o percentual de redução da qualidade fisiológica. O mesmo foi observado para a qualidade física. A partir dessas afirmações, dentro das situações estudadas neste trabalho, pode-se sugerir a secagem em leito de jorro cônico nas seguintes condições: $T=40^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $Q/Q_{jm}=1,50$; $T_{s0}=24^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.

Os índices de qualidade física não apresentaram influência significativa na qualidade fisiológica das sementes. Houve a constatação de quebra e fissuramento, porém, não verificou uma redução acentuada na germinação e no vigor, o que já era de se esperar visto que as sementes são plantadas com casca e nas análises realizadas neste trabalho, a qualidade física é comprometida pelos danos causados pela beneficiadora. A avaliação do número de fissuras e do rendimento foram úteis para comprovar que respeitando as condições de operação a semente não sofrerá danos que venham prejudicar sua germinação e crescimento.

5.2 - SUGESTÕES

- Estudo da secagem de sementes de arroz em leito de jorro cônico com ar na temperatura ambiente. Adotando esse procedimento a secagem não é interrompida e, por consequência, há redução da umidade dentro dos padrões estabelecidos pelo Ministério da Agricultura.
- Estudo da secagem contínua de sementes em leito de jorro cônico, assim mesmo que não haja a redução adequada da umidade, pode-se utilizar passos de secagem. Com um período de repouso no ambiente, a semente sofreria menos danos mecânicos, obtendo assim maiores índices de qualidade.
- Estudo da influência da umidade absoluta do ar de secagem na qualidade fisiológica de sementes de arroz submetidas à secagem em leito de jorro cônico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARORA,V.K.; HENDERSON, S.M. e BURKHARDT, T.H. "Rice Drying Cracking versus Thermal and Mechanical Properties", Transactions of the ASAE, 320-327, 1973. **apud** LOPES, C.C. "Estudo do Mecanismo de Quebra em Grãos de Arroz", Tese de Mestrado, FEA/UNICAMP,182p., Campinas, 1989.
- BAEHR, H.D., SCHWIER, K. Die Thermodynamischen Eigenschaften de Luft, Springer, Berlin, 1961 **apud** PAKOWSKI, Z., BARTCZAK, Z., STRUMILLO, C. and STENSTRÖM, "Drying Technology", v.9, n.3, p.753, 1991.
- BAKER, K. D., PAULSEN, M. R. and VAN ZWEDEN, J. Hybrid and Drying rate Effects Con Seed Corn Viability, Transactions of ASAE, n.2, v.34, p. 449-506, 1991.
- BAKER, K. D., PAULSEN, M. R. and VAN ZWEDEN, J. Temperature Effects on Seed Corn Dryer Performance, American Society of Agricultural Engineers, n.9, v.1, January, 1993.
- BARROS NETO, B., SCARMINO, I. S. e BRUNS, R. E. Planejamento e Otimização de Experimentos, Editora da UNICAMP, Campinas - SP, 1995.
- BARROZO, M. A. S. Secagem de grãos em Leito de Jorro não-convencional, tese de mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1985.

- BARROZO, M. A. S, SARTORI, D. J. Influência das Variáveis de Processo na Qualidade da Semente de Soja Submetida à Secagem em Leito Deslizante, Anais do XXII Encontro Sobre Escoamentos em Meios Porosos, v.2, p.730, 1985.
- BARROZO, M. A. S. Transferência de Calor e Massa entre o Ar e Sementes de Soja em Leito Deslizante e Escoamentos Cruzados, Tese de doutorado, PPG-EQ/UFSCar, São Carlos, 1995.
- BIRD, R. B., STWART, W. E. and LIGHTFOOT, E. N. Transport Phenomena, John Liley, New York, 1960.
- BOR, S. Rice: Production and Utilization, The AVI Publishing Company, INC., Westport, Connecticut, 1980.
- BROOKER, D. B., BAKKER-ARKEMA, F. W. and HALL, C. W. Drying and Storage of Grains and Oilseeds, The AVI Publishing Company, New York, 1982.
- CALDERWOOD, D.L. e WEBB, B.D. "Effect of the method of dryer operation of performance and on the milling and cooking characteristics of rice", Transactions of the ASAE, St. Joseph, Mich., v. 14, nº 1, p. 142-146, 1971.
- CANESIN, J. M. Um Estudo da Secagem em Leito de Jorro, Dissertação de mestrado COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1981.
- CANESIN, J. M. e MASSARANI, G., Secagem de arroz em leito II, III Encontro Nacional de Secagem, Viçosa, julho, 1981.

- CARVALHO, N. M.e NAKAGAWA, J. Sementes: Ciência, Tecnologia e Produção, Fundação Cargill, 3ª. edição, Campinas, São Paulo, Brasil, 1979.
- CATI, Arroz: Recomendações Técnicas para o Estado de São Paulo, Documento Técnico 100, SAA Comissão Técnica de Arroz, Campinas, 1996.
- CATI, Padrões de Sementes, Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Agricultura, Campinas, 1978.
- CHEN, YI-LUEN e KUNZE, O.R. "Effect of Heating without Drying on the Brown Rice Kernel", presented at the 1979 Southwest Region Meeting American Society of Agricultural Engineers, Hot, Springs, Arkansas, 1979. *apud* : LOPES, C.C. "Estudo do Mecanismo de Quebra em Grãos de Arroz", Tese de Mestrado, FEA/UNICAMP, 182p., Campinas, 1989
- CREMASCO, M. A.e MASSARANI, G. Secagem em Batelada de Leito de Jorro para Arroz II, Anais do XIII Encontro Nacional sobre Escoamento em Meios Porosos, v.2, p.335, 1985.
- CREMASCO, M. A. Secagem de Arroz em Batelada: Leito de JorroCônico, Dissertação de mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1986.
- CREMASCO, M. A., MASSARANI, G. Secador em Batelada de Leito de Jorro para Arroz III, Revista Brasileira de Engenharia, v.4, p.37, 1987.
- CREMASCO, M. A., ROCHA, S. C. S. e MASSARANI, G. Secagem de Milho em Leito de Jorro, Anais do XV Encontro Nacional sobre Escoamento em Meios Porosos, v.2, p.382, Uberlândia, 1987.

- CREMASCO, M. A., Rocha, S. C. S. and MASSARANI, G. Drying of Corn and Rice in Conical Spouted Bed, Proceedings of VII Polish Drying Symposium, v.1, p.73, Poland, 1991a.
- CREMASCO, M. A., Rocha, S. C. S. and MASSARANI, G. Drying of Corn and Rice in Conical Spouted Bed: Part II, Actas del IV Congreso Latinoamericano de Transferencia de Calor y materia, v.2, p.313, Chile, 1991b.
- CREMASCO, M. A. Fundamentos de Transferência de Massa, Editora da UNICAMP, Campinas, São Paulo, 741p., 1998.
- DUTRA, C. H. N. C. Determinação do Leito de Jorro Não-convencional, Dissertação de mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1984.
- FARIA, C. D. F. Análise do Rendimento de Grãos Inteiros na Secagem de Arroz em Casca em Batelada em um Leito de Jorro Cônico, Dissertação de mestrado, FEQ-UNICAMP, Campinas, 1997.
- FARONI, L. R. D. Determinação do Rendimento de Arroz, Dissertação de mestrado, U.F. de Viçosa, Minas Gerais, p.30, 1983.
- FLAUZINO, R. S. Influência do Teor de Umidade do Sólido na Secagem de Sementes em Leito Deslizante e Escoamentos Cruzados, Dissertação de mestrado, PPG-EQ/UFSCar, São Carlos, 1993.
- FULLER, E. N., SCHETTER, P. D. and GIDDING, J. C., Ind. Eng. Chemical, v.58, n.8, p.18, 1966, **apud** REID, R. C., PRAUSNITZ, J. M. and SHERWOOD, T. K., "The Properties of Gases & Liquids", 3th, McGraw-Hill, New York, 1977.

HENDERSON, S. M. The Causes and Characteristics of Rice Checking, Rice Journal, v. 57, n.6, p.16, 1958.

INSTITUTO AGRONÔMICO, IAC - 101 Novo Cultivar de Arroz Irrigado para o Estado de São Paulo, Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Agricultura e Abastecimento - Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária, outubro de 1991.

JULIANO, B. O. The Rice Caryopsis and its Composition, in Rice, Chemistry and Technology, D. F. Houston (ed.), American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, 1972.

KAMEOKA, T., HOSOKAWA, A. and MORISHIMA, H. Proceedings on 4th International Drying Symposium (IDS'85), v.1, p.295, 1984.

KUNZE, O.R. "Moisture Adsorption Influences on Rice", Journal of Food Process Engineering, v.1, n.2, p.167-181, 1977.

KUNZE, O.R. e HALL, C.W. "Moisture Adsorption Characteristics of Brown Rice", Transactions of the ASAE, v.10, n.4, p.448-450, 435, 1967. **apud** LOPES, C.C. "Estudo do Mecanismo de Quebra em Grãos de Arroz", Tese de Mestrado, FEA/UNICAMP, 182p., Campinas, 1989

KUNZE, O.R. and PERALTA, E.K. Practical Relative Humidity Systems that Fissure Rice and Other Grains, ASAE, v. 9(1): January 1993.

LAN, Y. and KUNZE, O.R. Fissure Resistance of Rice Varieties, Applied Engineering in Agriculture, ASAE, v.12(3): 365-368, 1996.

- LIMA, W. J. N. Secagem em Batelada de Arroz em Casca em um Leito de Jorro Cônico com Tubo Interno Utilizando Ciclos de Resfriamento: Análise do Rendimento de Grãos Inteiros, Dissertação de Mestrado Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP, Campinas, 1997.
- LOPES, C.C. "Estudo do Mecanismo de Quebra em Grãos de Arroz", Tese de Mestrado, FEA/UNICAMP, 182p., Campinas, 1989.
- MASON, E. A. and SAXENA, S. C., The Physics of Fluids, v.1, p.361, 1958 **apud** BIRD, R. B., STEWART, W. E. and LIGHTFOOT, E. N., "Transport Phenomena", John Wiley, New York, 1960.
- MATHUR, K. B. and GISHLER, P. S. A Technique for Contacting Gases With Coarse Solid Particles, AIChE J., v.1, p.157, 1955.
- MATHUR, K. B. and EPSTEIN, N. Spouted Beds, Academic Press Inc., New York, 1974.
- MORA, M.A.C. y ECHANDI, R.Z. Evaluación del efecto de condiciones de almacenamiento sobre la calidad de semillas de arroz (*Oryza sativa* L.) y de maíz (*Zea mays* L.), Turrialba, Costa Rica, 26: 311-336, 1977/78, 31: 167-178, 1979.
- PAKOWSKI, Z., BARTCZAK., STRUMILLO, C. and STENSTRÖM, Drying Technology, v.9, n.3, p.753, 1991.
- PASSOS, M. L., MUJUNDAR, A. S. and RAGHAVAN, V. G. S. Spouted and Spout-Fluidized Beds for Grain Drying, Drying Technology, v.7, n.4, pp. 663-696, 1989.

- PUZZI, D. Manual de Armazenamento de Grãos, Editora Agronômica CERES LTDA, São Paulo, SP, 1977.
- PETERSON, W. S. Spouted Bed Dryer, The Canadian Journal of Chemical Engineering, v. 40, p. 226, 1962.
- RAMOS, M. G., et. al. Manual de Produção do Arroz Irrigado, EMATER/ACARESC, Florianópolis, SC, 1985.
- REID, R. C., PRAUSNITZ, J. M. and SHERWOOD, T. K., "The Properties of Gases & Liquids", 3th, McGraw-Hill, New York, 1977.
- ROCHA, S. C. S. Contribuição ao Estudo da Secagem Pneumática Vertical: Simulação e Influência do Coeficiente de Transferência de Calor Gás-Partícula, Tese de Doutorado, USP, São Paulo, 1988.
- ROCHA, V. S. et al. A Qualidade da Semente de Soja, Imprensa Universitária da U.F.V. Viçosa, MG, 1984, p.76, **apud** SARTORI, D. J. M., "Secagem de Sementes em Leito Deslizante e Escoamentos Cruzados, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 1986.
- SABBAH, M.A.; FOSTER, G.H.; HAUGH, C.G. e PEART, R.M., "Effect of Tempering after Drying on Cooling shelled Corn", Transactions os ASAE, St. Joseph, Mich., v.15, p. 763-5, 1972.
- SHEPHARD, H. L., NAYLOR, R. E. L. and STUCHBURY, T. The Influence of Seed Maturity at harvest and Drying Method on the Embryo, α -amylase Activity and Seed Vigour in Rice (*Oryza sativa L*), Seed Science & Technology, n.23, p.487-499, 1995.

TANG, J., SOKHANJ, S. Drying Parameter Effects on Lentil Seed Viability, American Society of Agricultural Engineers, n.36, v. 3, p.855-861, 1993.

VDI WÄRMEATLAS, 1977, 3rd ed., VDI-VERLAG, DÜSSELDORF. **apud** PAKOWSKI, Z., BARTCZAK, Z., STRUMILLO, C. and STENSTRÖM, "Drying Technology", v.9, n.3, p.753, 1991.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BRADBEER, J. W. Seed Dormancy and Germination, Blackie Academic & Professional, 1st ed., London, 1988.

BROOKER, D.B., BAKKER-ARKEMA, F.W. and HALL, C.W. Drying Cereal Grains, Westport, Connecticut The AVI Publishing Company, INC., 5nd ed., 1982.

CALLADO, V. M. A., BISCAIA Jr, E. E. e MASSARANI, G. Secagem de Grãos em Leito de Jorro: Aplicação de um modelo de Difusão, Anais do XV Encontro sobre Escoamentos em Meios Porosos, v.2, p.374, 1987.

DELOUCHE, J. C. and HOWARD, C. P. Programa de Sementes - Planejamento e Implantação, Ministério da Agricultura, AGIPLAN, Banco Interamericano de Desenvolvimento, Empréstimo 327/SF - BR, Brasília - DF, 1974.

FOUST, A.S. et al. Princípios das Operações Unitárias, Segunda edição, Editora Guanabara Dois, Rio de Janeiro.

INSTITUTO AGRONÔMICO, IAC 101 - Novo Cultivar de Arroz Irrigado para o Estado de São Paulo, Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Agricultura e Abastecimento-Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária, Outubro de 1991.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, Secretaria Nacional de Produção Agropecuária, Secretaria de Produção Vegetal - Coordenadoria de Sementes e Mudas, Legislação da Inspeção e Fiscalização da Produção e

do Comércio de Sementes e Mudas, Terceira Edição, AJUSTE/MA/SNAP/FAEPE, 1981.

MOREL, D.A.e NEUBERT, A.O. Efeito do Uso de Semente de Qualidade e da Adubação no Sistema de produção para Arroz Irrigado, Agropecuária Catarinense, v.6, n.1,p 47-79 março, 1993.

PUZZI, D. Manual de Armazenamento de Grãos, Editora Agronômica CERES LTDA, São Paulo, SP, 1977.

RAZERA, L.F., et al. Armazenamento de Sementes de Arroz e Milho em Diferentes Embalagens e Localidades Paulistas, Bragantia, Campinas, 45(2): 337-352, 1986.

ROSSI, S.J., Psicrometria, João Pessoa, FUNAPE, 1987.

SMITH, J. M. e VAN NESS, H. C., Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química, 3ª Ed., Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1980.

SOUZA, Maria da Graça, C., As Novas Portarias do Arroz, Diário oficial da Nação, edição de 22 de novembro de 1988 e primeiro de fevereiro de 1989, Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, 42(383), jan./fev. 1989.

APÊNDICE A

CURVAS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FISIOLÓGICA DA SEMENTE

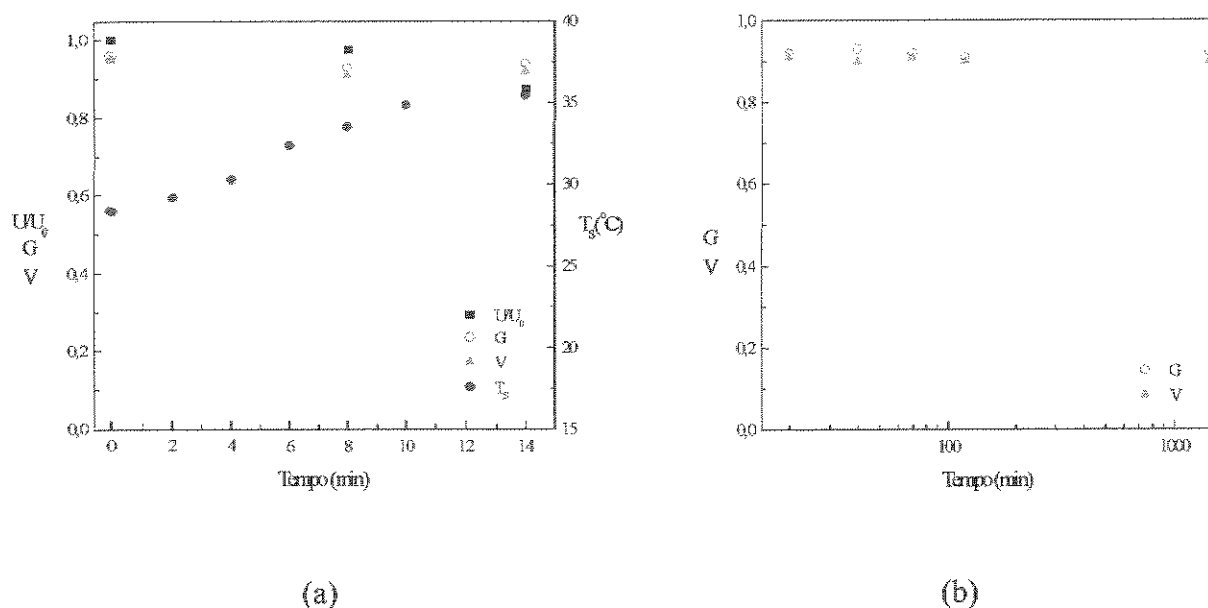


Figura A1 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor - secagem convencional.

$T = 60^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,25$; $Q/Q_{im} = 1,52$; $T_{s0} = 28^{\circ}\text{C}$; $Y_0 = 23,21\text{g/kg}$.

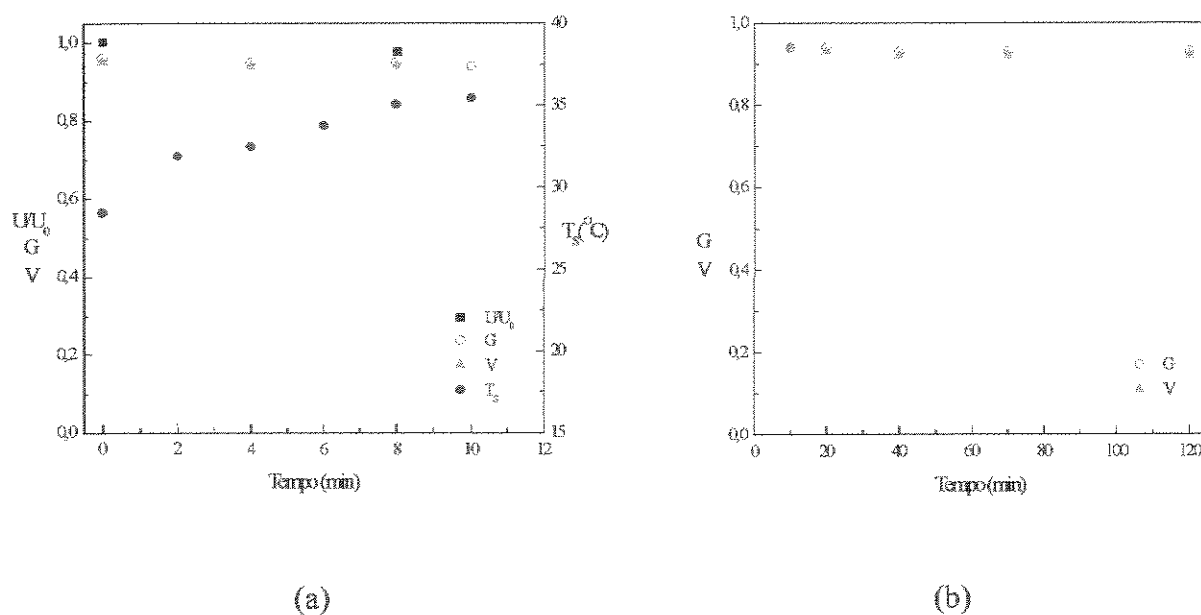
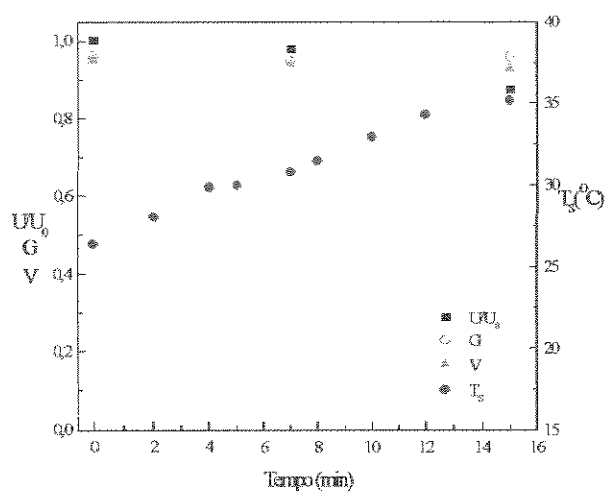
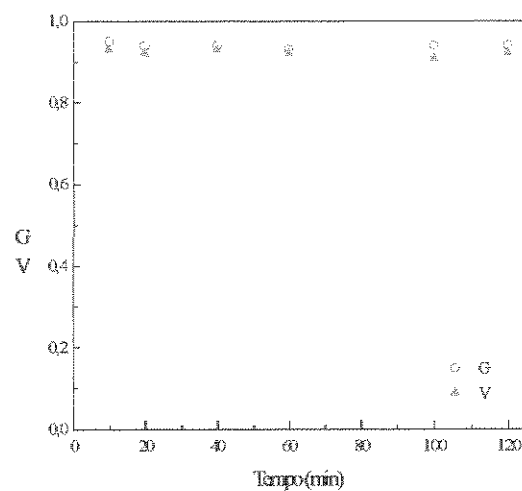


Figura A2 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor - secagem convencional.

$T = 50^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,252$; $Q/Q_{im} = 1,52$; $T_{s0} = 28^{\circ}\text{C}$; $Y_0 = 24,64\text{g/kg}$.



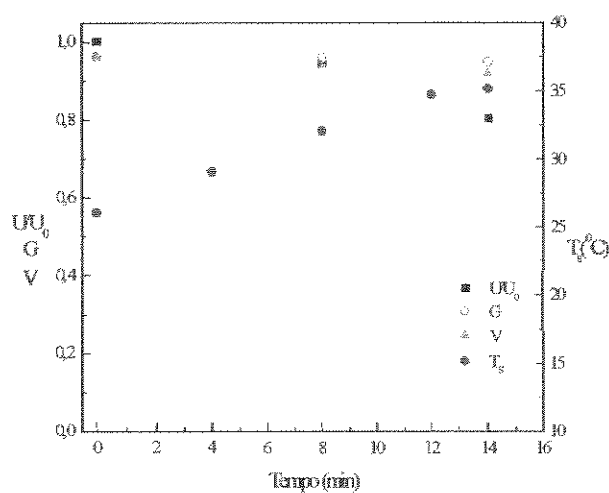
(a)



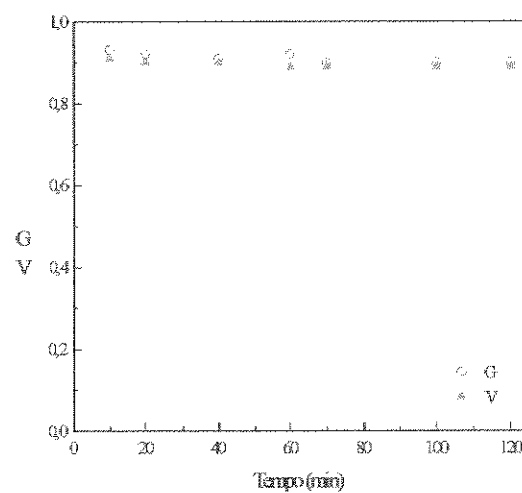
(b)

Figura A.3 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor - secagem convencional.

$T = 40^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,251$; $Q/Q_{jm} = 1,52$; $T_{s0} = 26^{\circ}\text{C}$; $Y_0 = 22,43\text{g/kg}$.



(a)



(b)

Figura A.4 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor - secagem convencional.

$T = 60^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,250$; $Q/Q_{jm} = 1,93$; $T_{s0} = 26^{\circ}\text{C}$; $Y_0 = 44,00\text{g/kg}$.

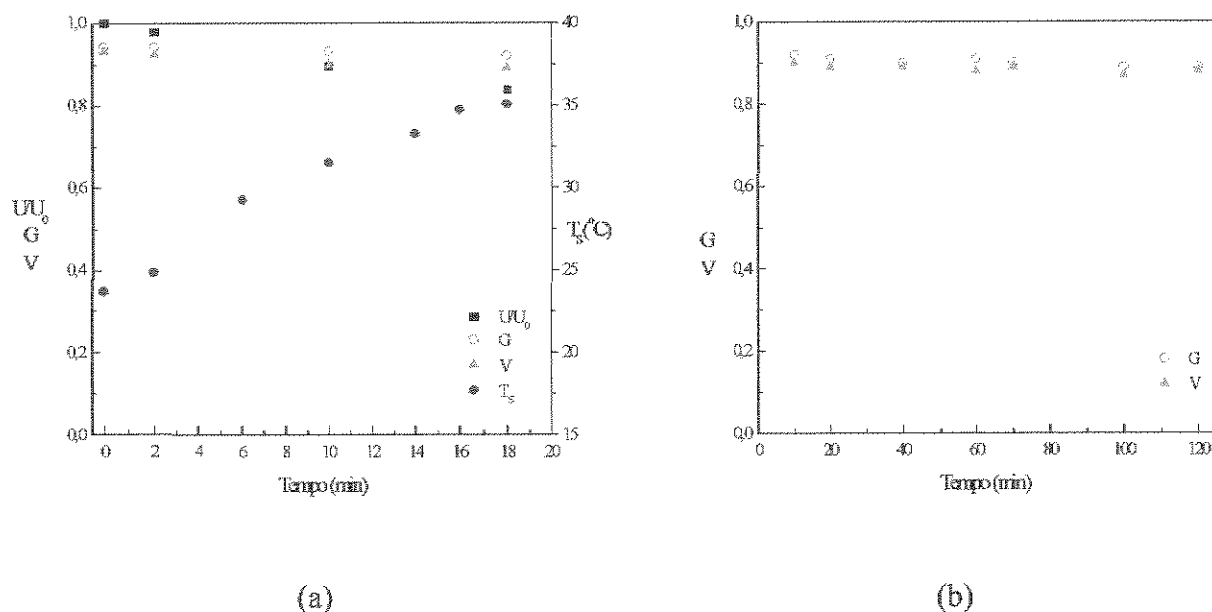


Figura A.5 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor - secagem convencional.

$T = 40^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 5\text{kg}$; $U_0 = 0,21$; $Q/Q_{\text{im}} = 1,42$; $T_{s0} = 23^{\circ}\text{C}$; $Y_0 = 20,50\text{g/kg}$.

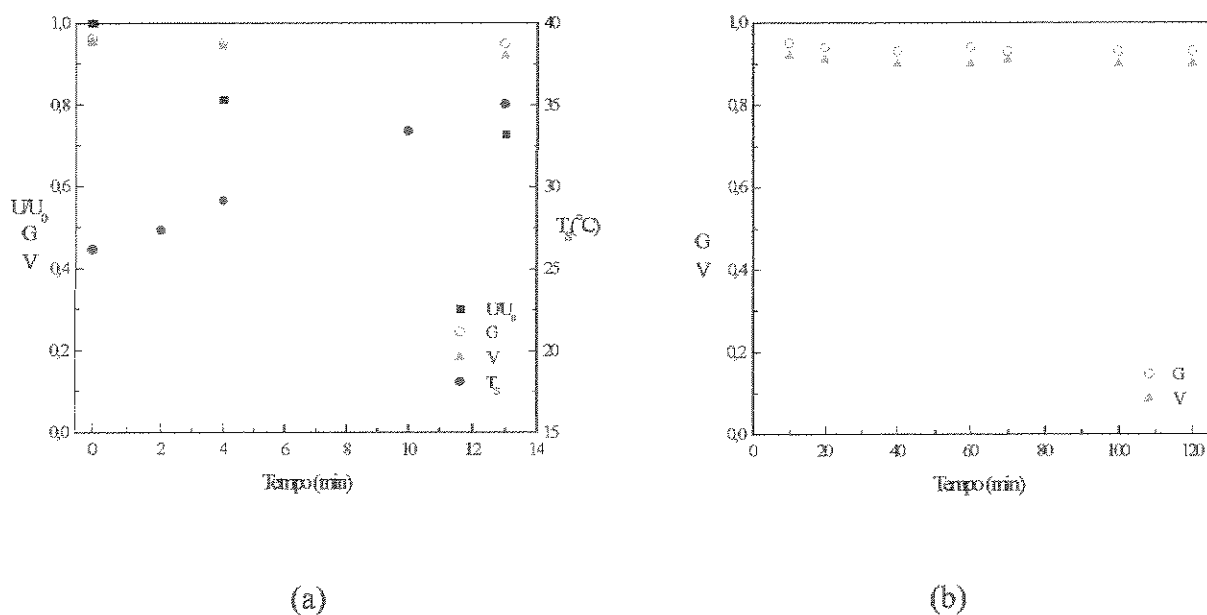
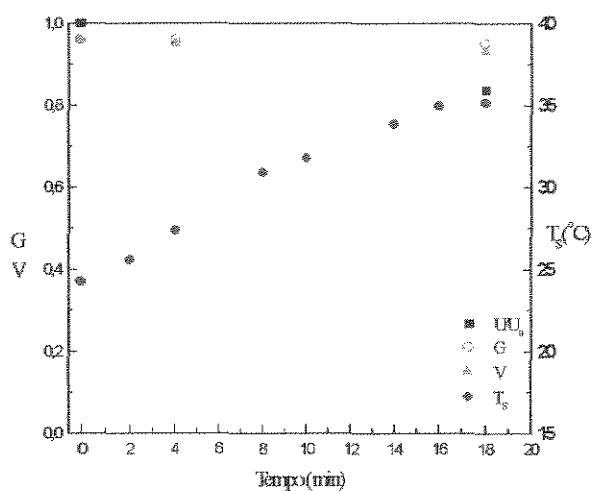
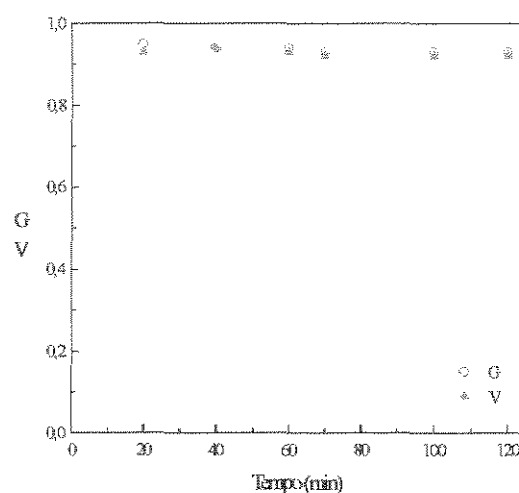


Figura A.6 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor - secagem convencional.

$T = 60^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,251$; $Q/Q_{\text{im}} = 1,47$; $T_{s0} = 26^{\circ}\text{C}$; $Y_0 = 46,56\text{g/kg}$.



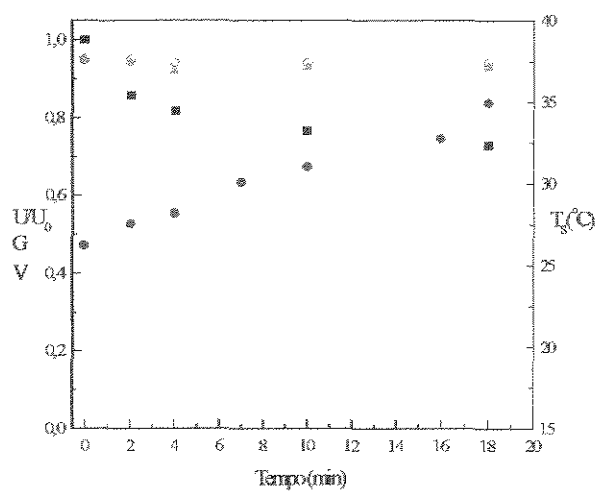
(a)



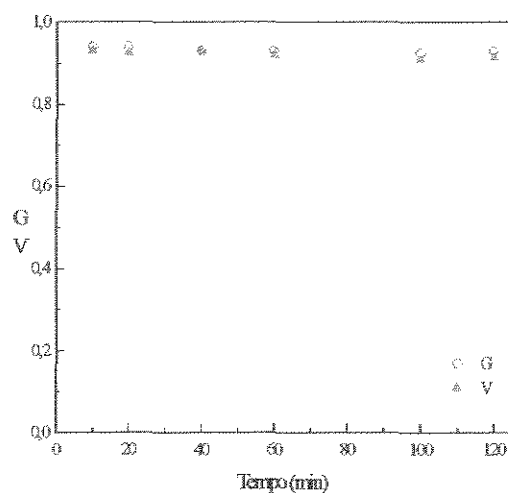
(b)

Figura A.7 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor - secagem convencional.

$T = 40^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,253$; $Q/Q_{jm} = 1,50$; $T_{s0} = 24^{\circ}\text{C}$; $Y_0 = 22,00\text{g/kg}$.



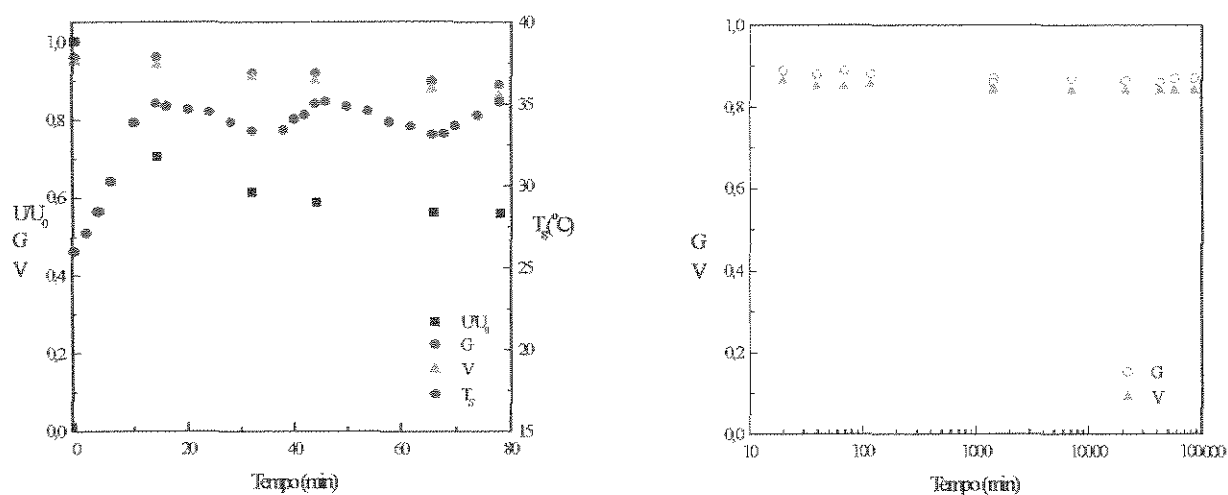
(a)



(b)

Figura A.8 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor - secagem convencional.

$T = 50^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,231$; $Q/Q_{jm} = 1,51$; $T_{s0} = 26^{\circ}\text{C}$; $Y_0 = 27,14\text{g/kg}$.

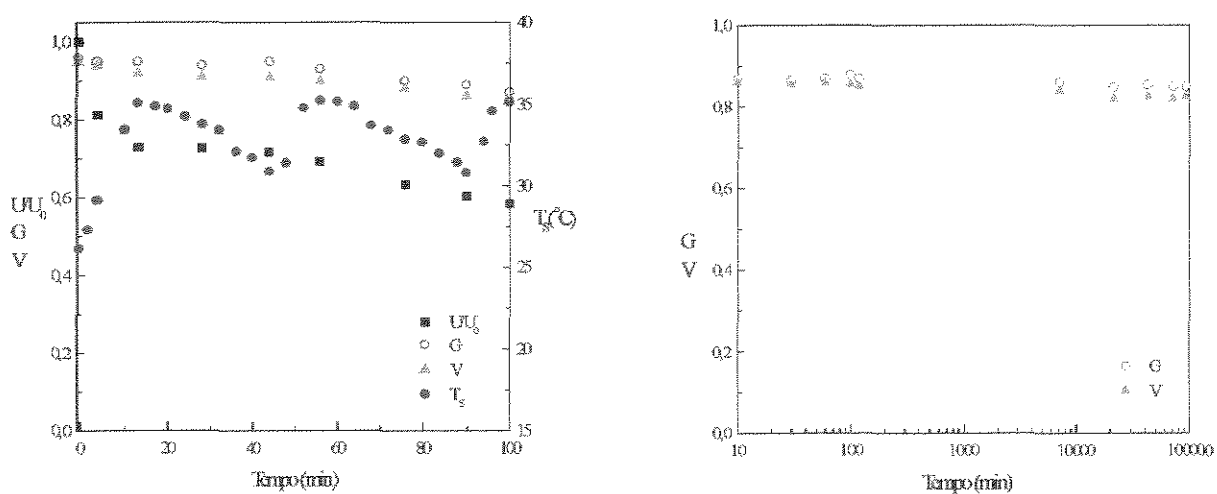


(a)

(b)

Figura A.9 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor.

$T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,259$; $Q/Q_{im}=1,49$; $T_{s0}=26^{\circ}\text{C}$; $n=2$; $t_c=20\text{min}$; $Y_0=43,83\text{g/kg}$.



(a)

(b)

Figura A.10 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor.

$T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,251$; $Q/Q_{im}=1,52$; $T_{s0}=26^{\circ}\text{C}$; $n=2$; $t_c=30\text{min}$; $Y_0=46,56\text{g/kg}$.

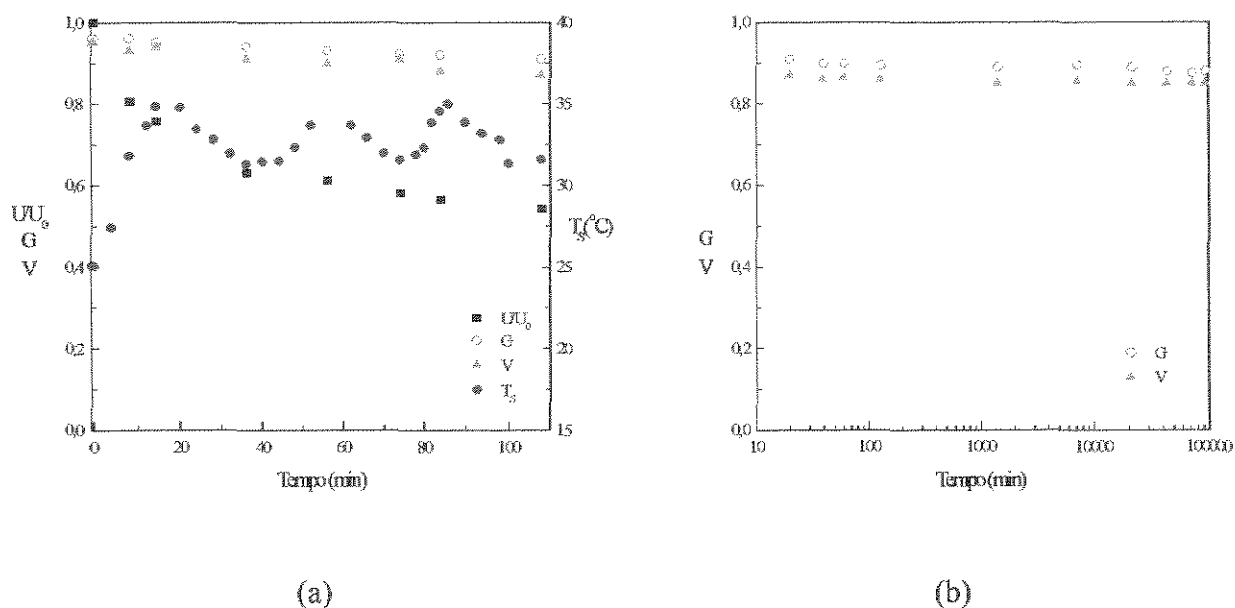


Figura A.11 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor.

$T=40^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,250$; $Q/Q_{im}=1,52$; $T_{s0}=25^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$;
 $Y_0=19,38\text{g/kg}$.

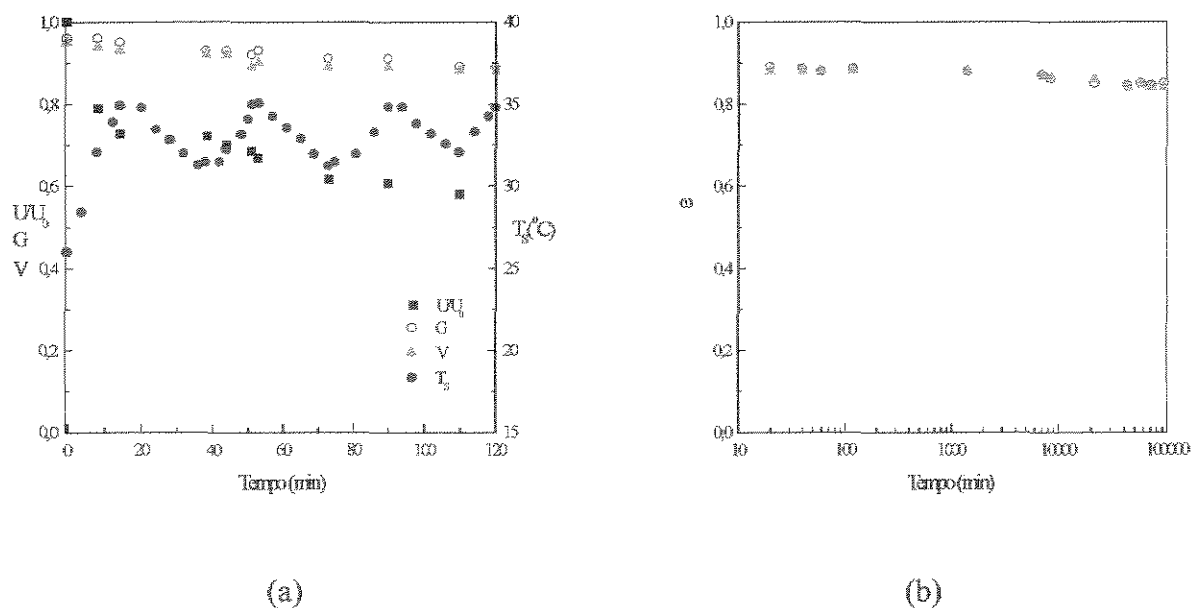
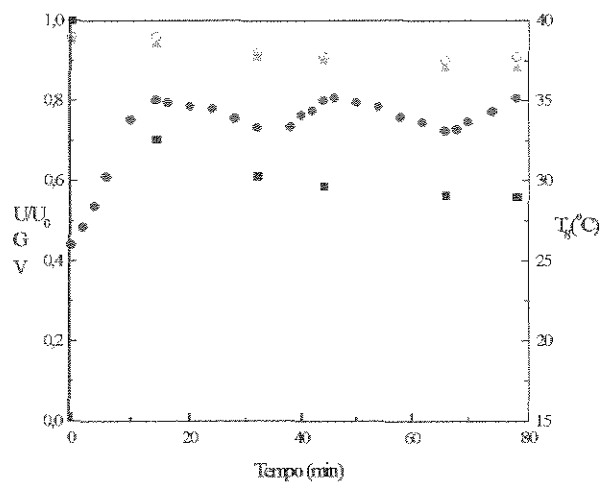
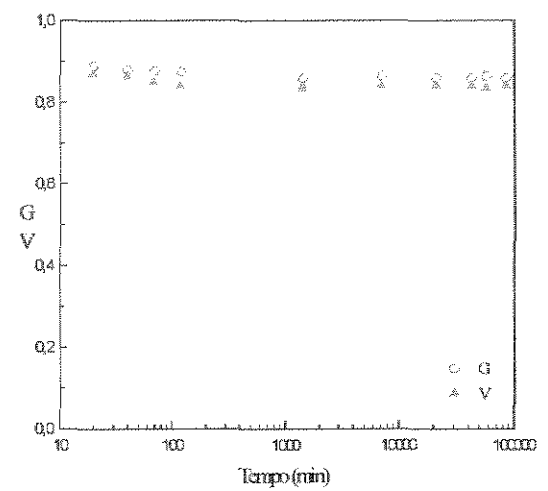


Figura A.12 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor.

$T=40^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,25$; $Q/Q_{im}=1,52$; $T_{s0}=26^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$;
 $Y_0=22,58\text{g/kg}$.



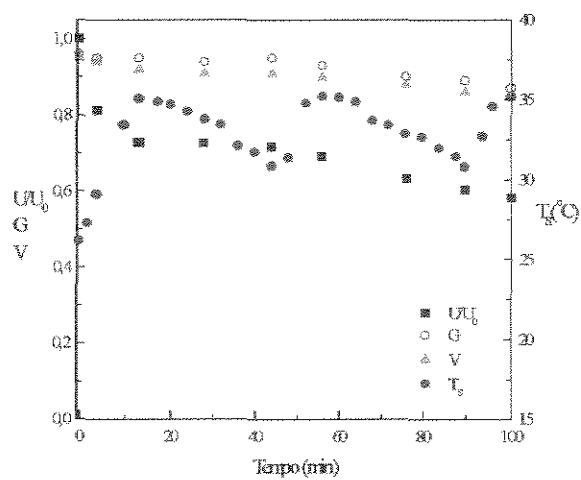
(a)



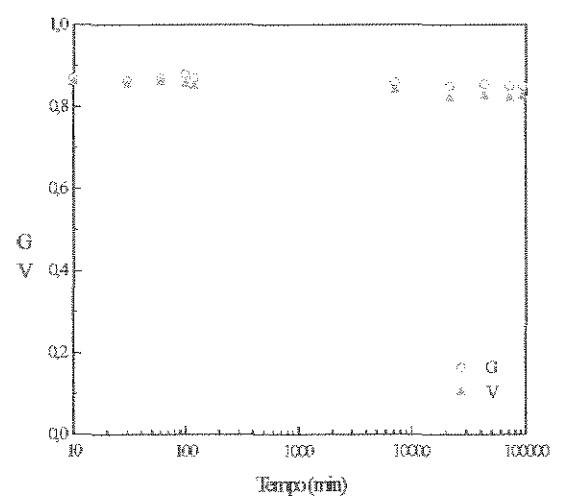
(b)

Figura A.13 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor.

$T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,26$; $Q/Q_{im}=1,52$; $T_{s0}=26^{\circ}\text{C}$; $n=2$; $t_c=20\text{min}$;
 $Y_0=43,80\text{g/kg}$.



(a)



(b)

Figura A.14 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor

$T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,251$; $Q/Q_{im}=1,52$; $T_{s0}=26^{\circ}\text{C}$; $n=2$; $t_c=30\text{min}$; $Y_0=46,56\text{g/kg}$;

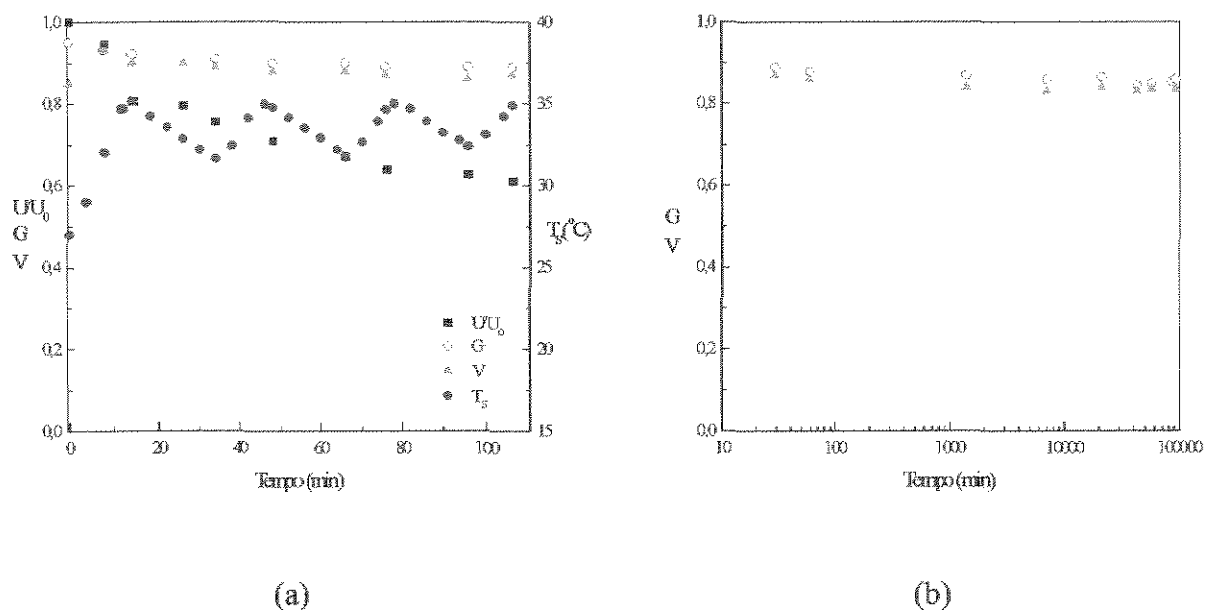


Figura A.15 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor.

$T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,210$; $Q/Q_{lm}=1,93$; $T_{s0}=26^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$; $Y_0=46,66\text{g/kg}$.

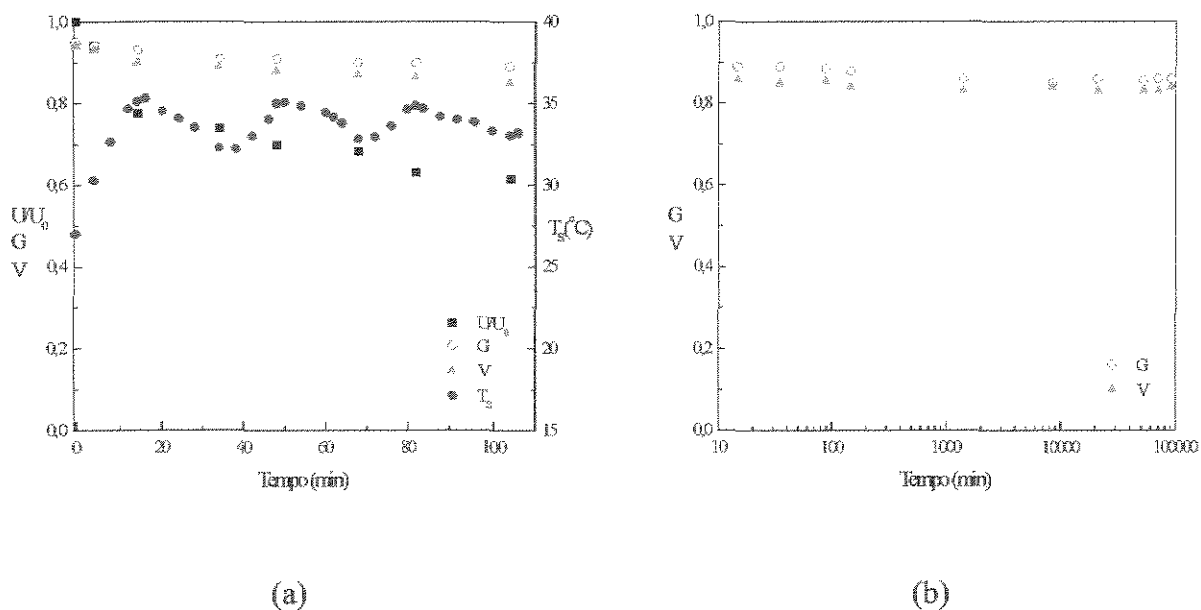


Figura A.16 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor.

$T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=5\text{kg}$; $U_0=0,210$; $Q/Q_{lm}=1,87$; $T_{s0}=27^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$; $Y_0=38,14\text{g/kg}$.

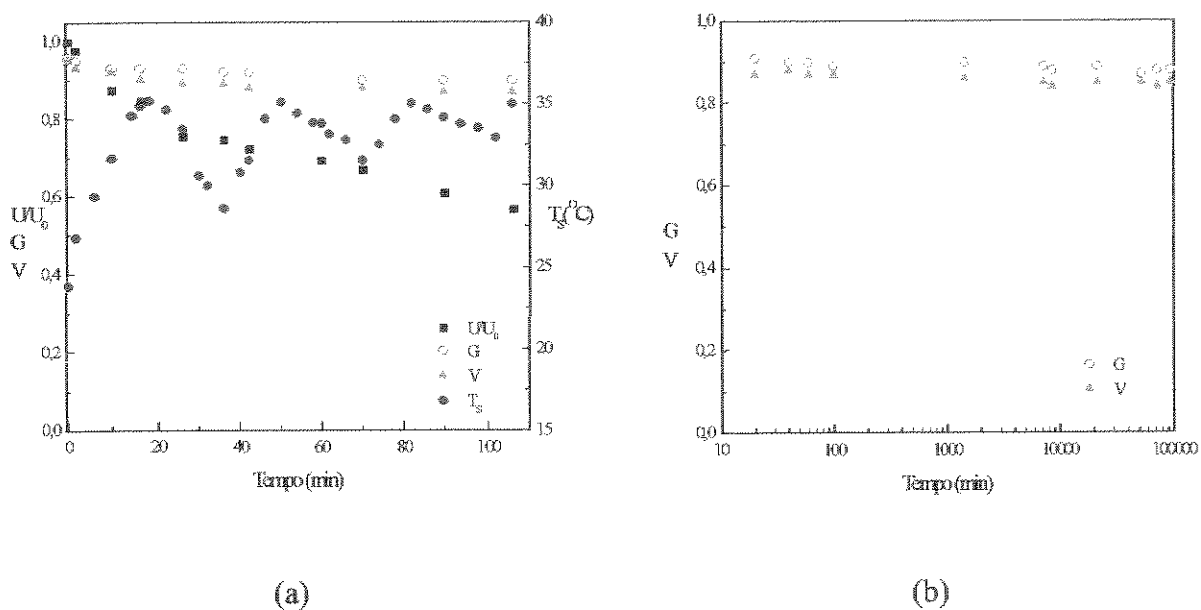


Figura A.17 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor.

$T=40^{\circ}\text{C}$; $W_0=5\text{kg}$; $U_0=0,210$; $Q/Q_{im}=1,50$; $T_{s0}=24^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$; $Y_0=19,17\text{g/kg}$.

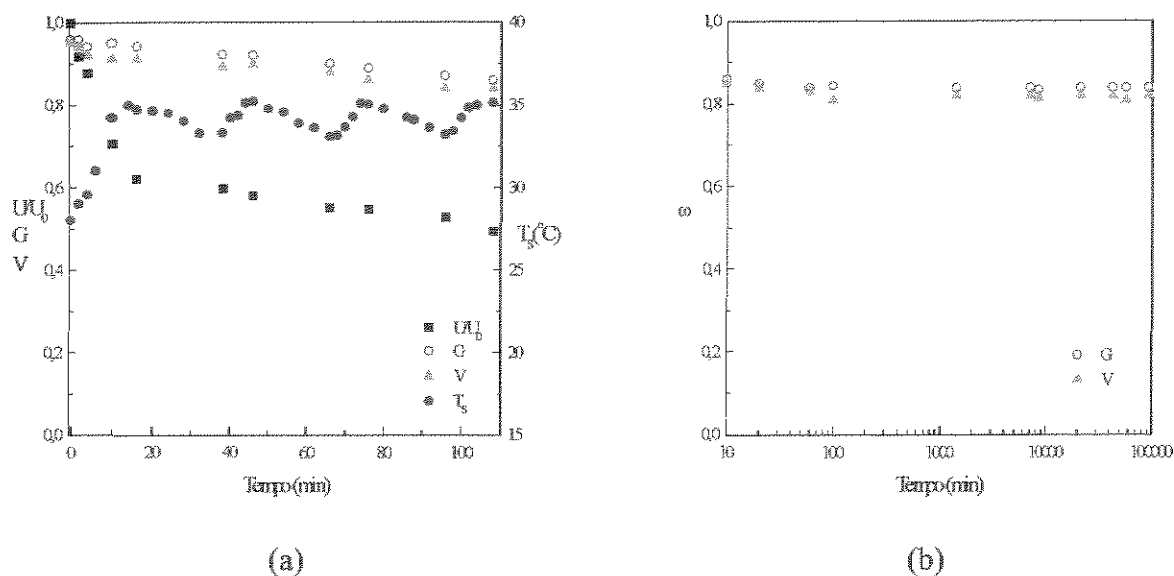


Figura A.18 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor.

$T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=5\text{kg}$; $U_0=0,259$; $Q/Q_{im}=1,56$; $T_{s0}=28^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$; $Y_0=37,31\text{g/kg}$.

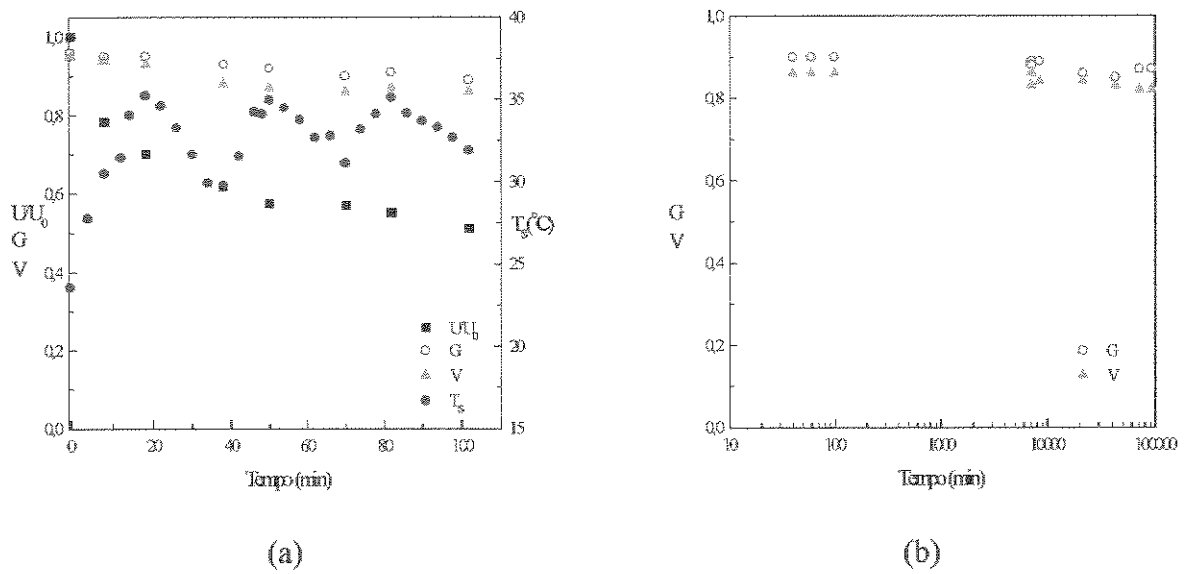


Figura A.19 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor.

$T=40^{\circ}\text{C}$; $W_0=5\text{kg}$; $U_0=0,250$; $Q/Q_{im}=1,63$; $T_{s0}=23^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$;
 $Y_0=22,95\text{g/kg}$.

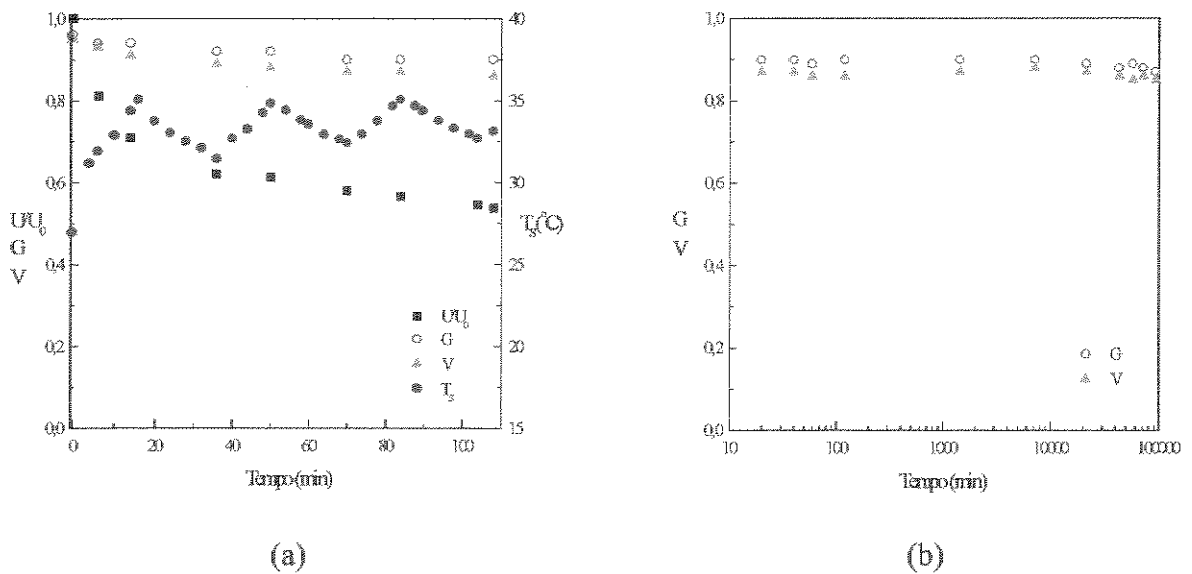


Figura A.20 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor.

$T=60^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,250$; $Q/Q_{im}=1,52$; $T_{s0}=27^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$;
 $Y_0=39,31\text{g/kg}$.

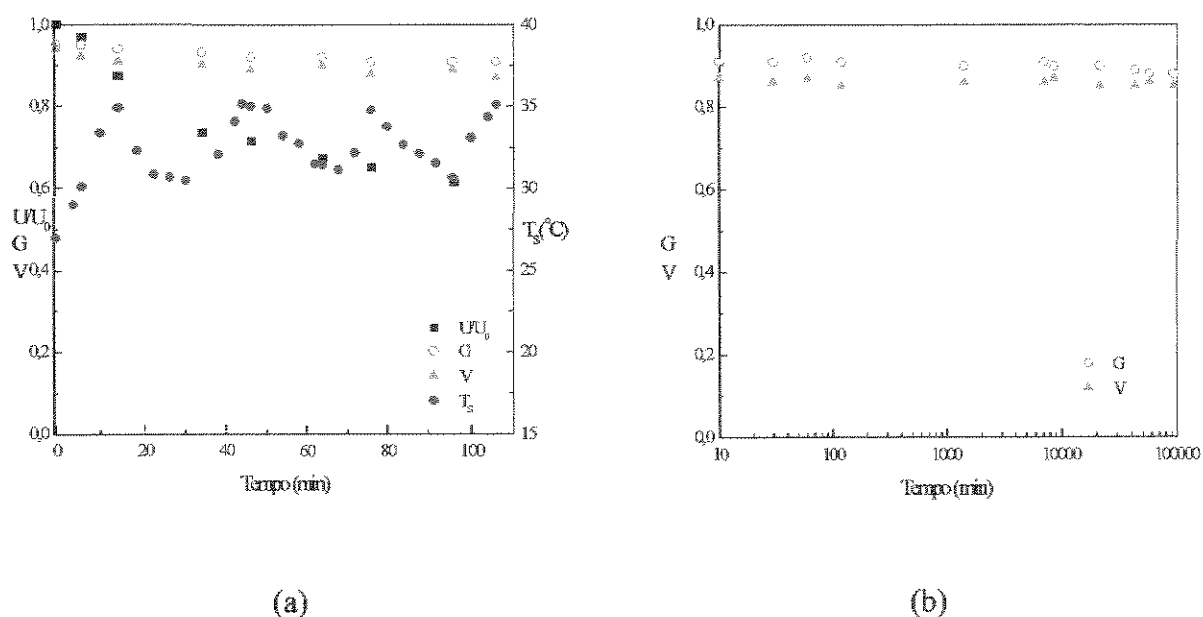


Figura A.21 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor.

$T=40^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,215$; $Q/Q_{\text{im}}=1,87$; $T_{s0}=27^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$;
 $Y_0=20,80\text{g/kg}$.

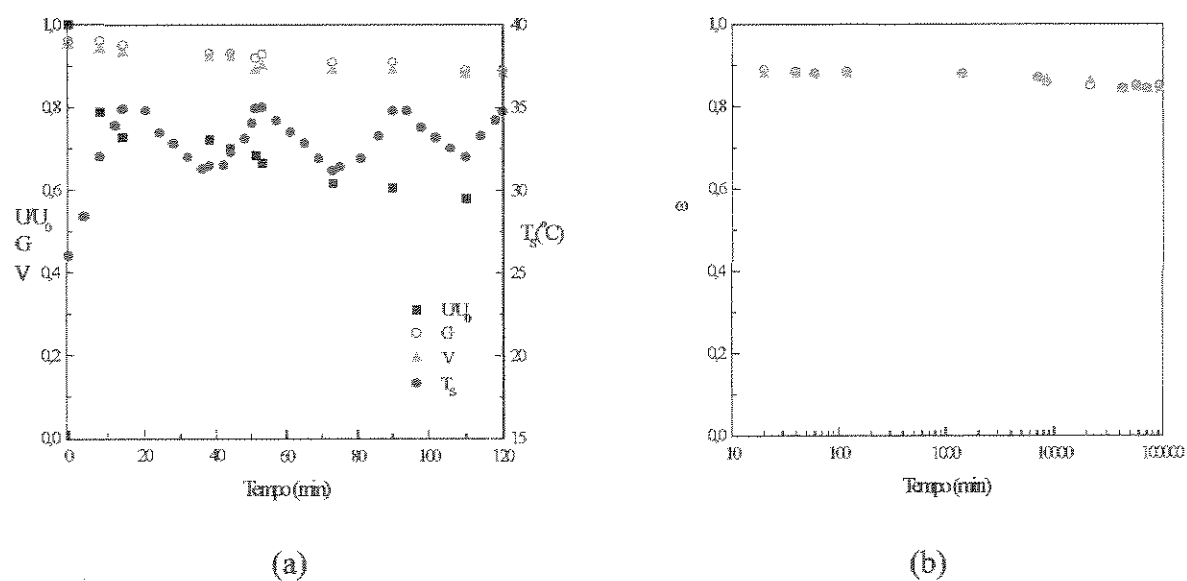


Figura A.22 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor.

$T=40^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,250$; $Q/Q_{\text{im}}=1,52$; $T_{s0}=27^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$;
 $Y_0=22,58\text{g/kg}$.

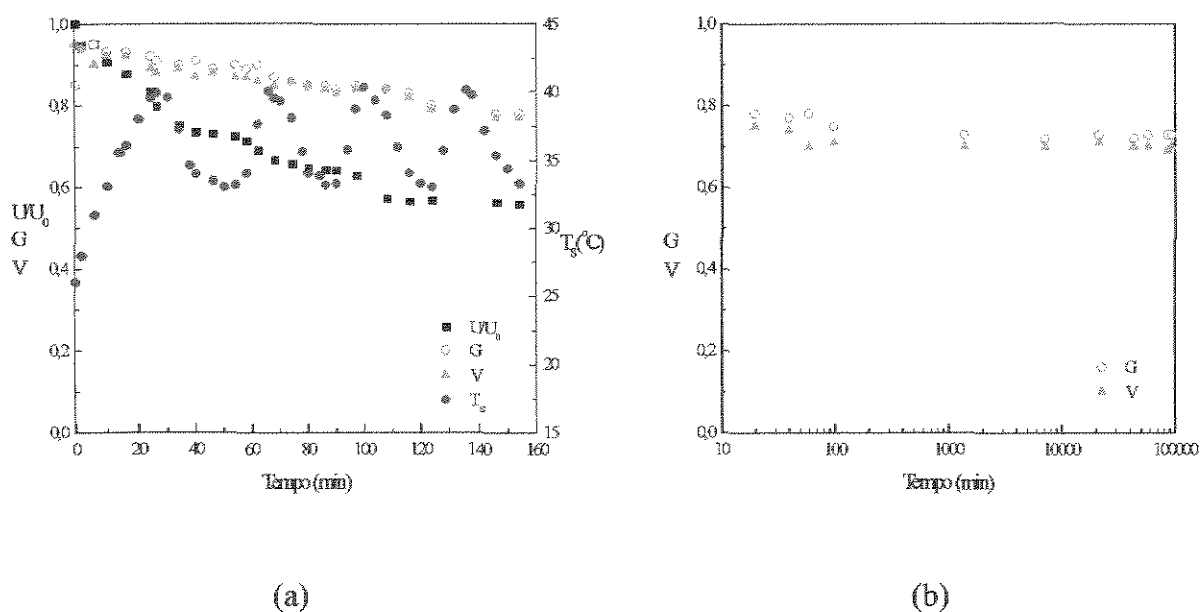


Figura A.23 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor.

$T=40^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,213$; $Q/Q_{\text{im}}=1,75$; $T_{s0}=26^{\circ}\text{C}$; $T_{st}=40^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$; $Y_0=21,38\text{g/kg}$.

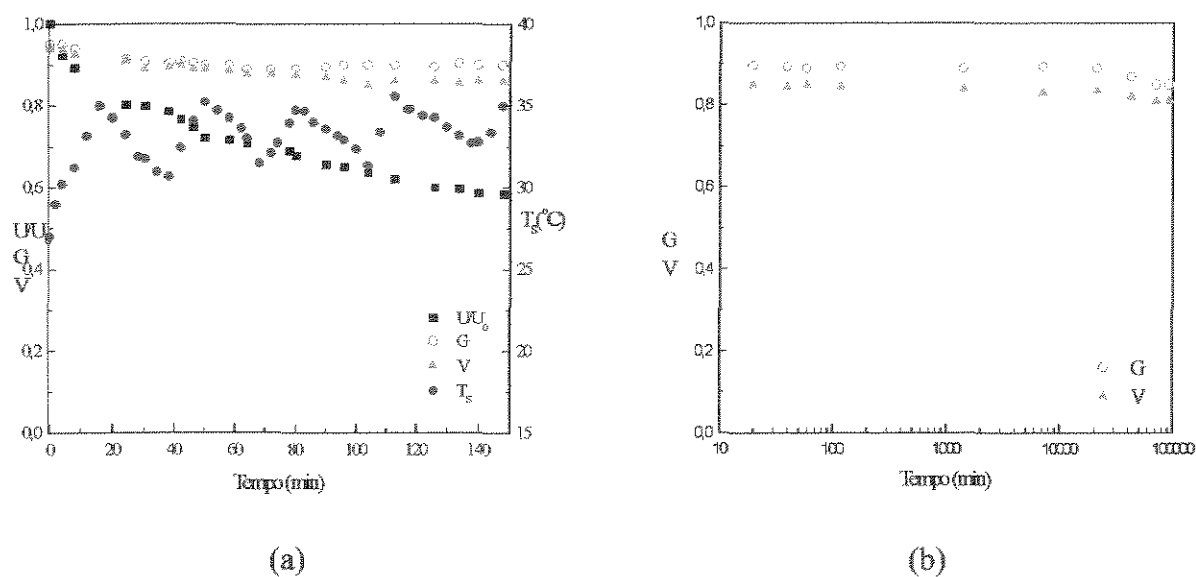
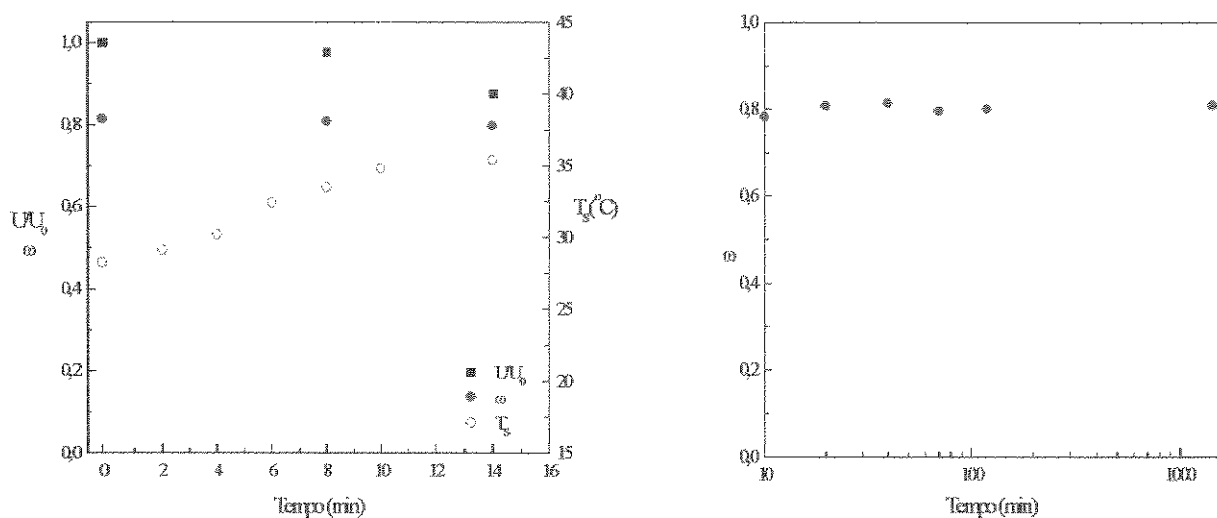


Figura A.24 - Curvas de variação da umidade, temperatura da semente, poder de germinação e vigor.

$T=50^{\circ}\text{C}$; $W_0=10\text{kg}$; $U_0=0,215$; $Q/Q_{\text{im}}=1,59$; $T_{s0}=27^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$; $Y_0=25,31\text{g/kg}$.

APÊNDICE B

CURVAS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICA DAS SEMENTES DE ARROZ

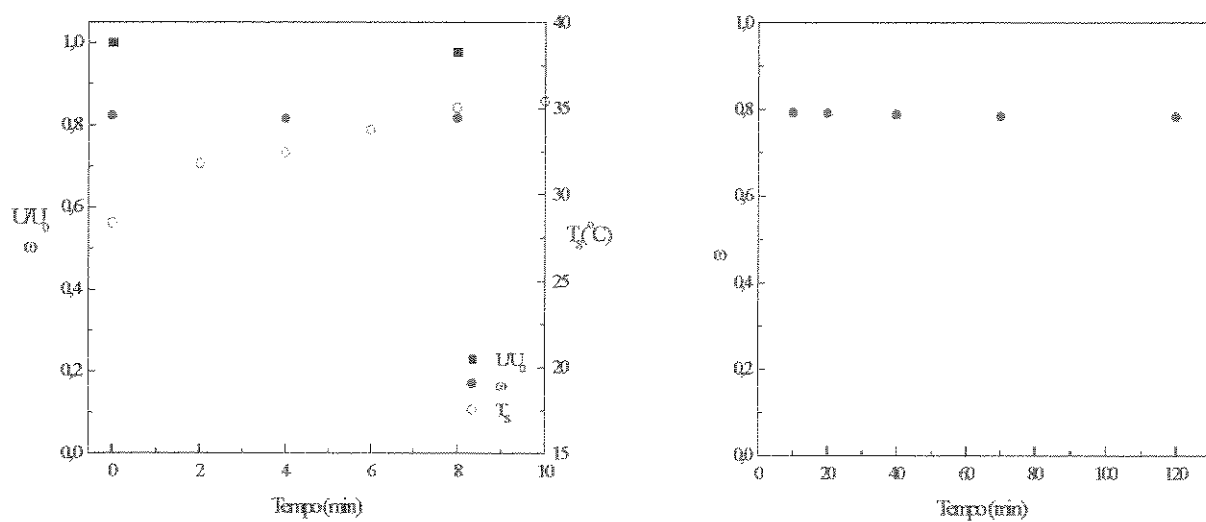


(a)

(b)

Figura B1 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 60^\circ\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,25$; $Q/Q_{jm} = 1,52$; $T_{s0} = 28^\circ\text{C}$.



(a)

(b)

Figura B2 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento

$T = 50^\circ\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,252$; $Q/Q_{jm} = 1,52$; $T_{s0} = 28^\circ\text{C}$.

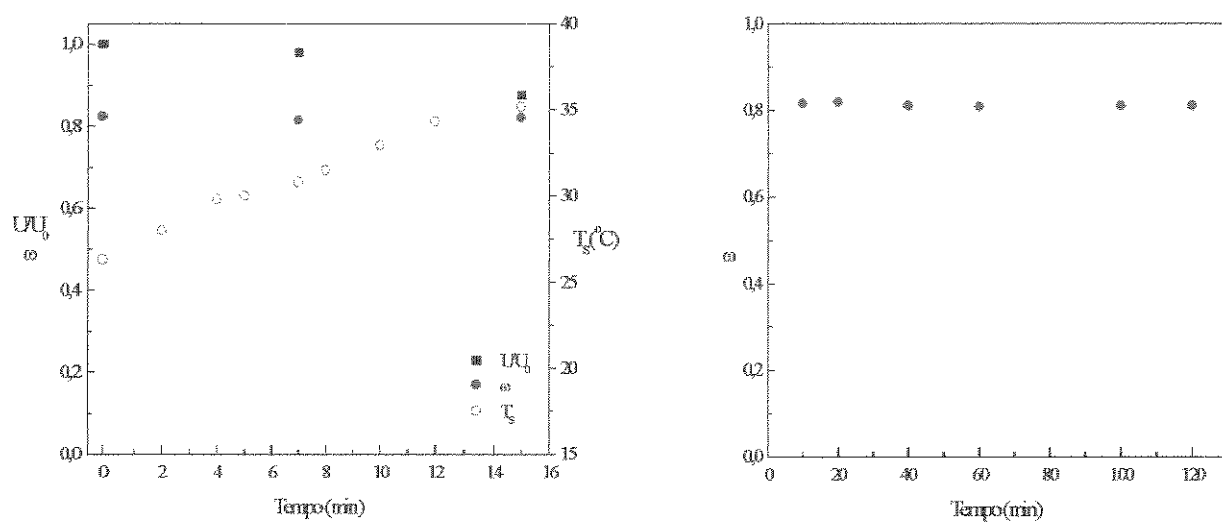
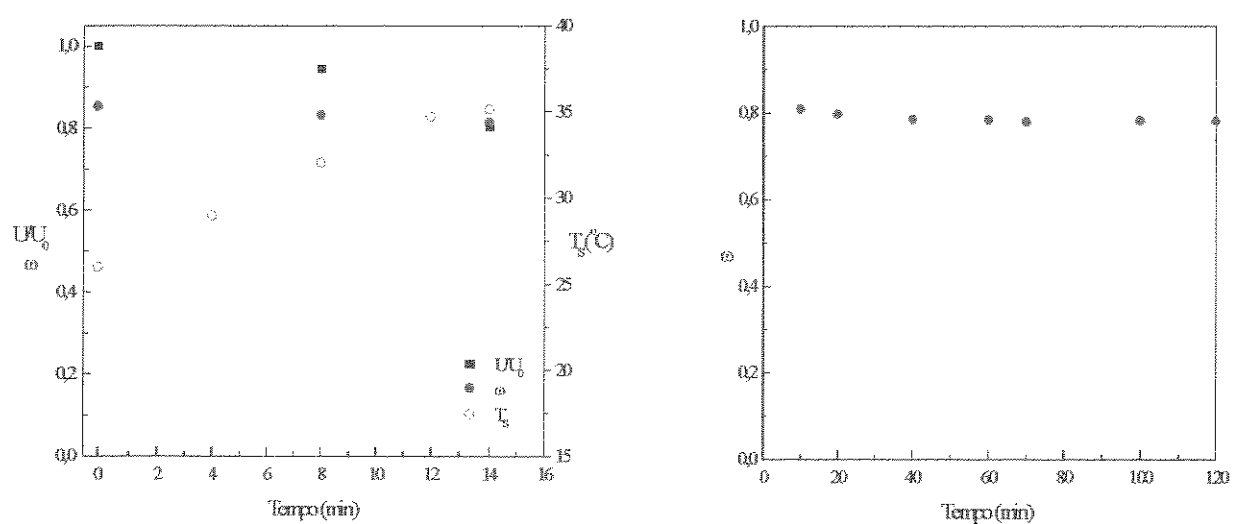


Figura B3 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 40^\circ\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,251$; $Q/Q_{jm} = 1,52$; $T_{s0} = 26^\circ\text{C}$.



(a)

(b)

Figura B4 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 60^\circ\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,250$; $Q/Q_{jm} = 1,93$; $T_{s0} = 26^\circ\text{C}$.

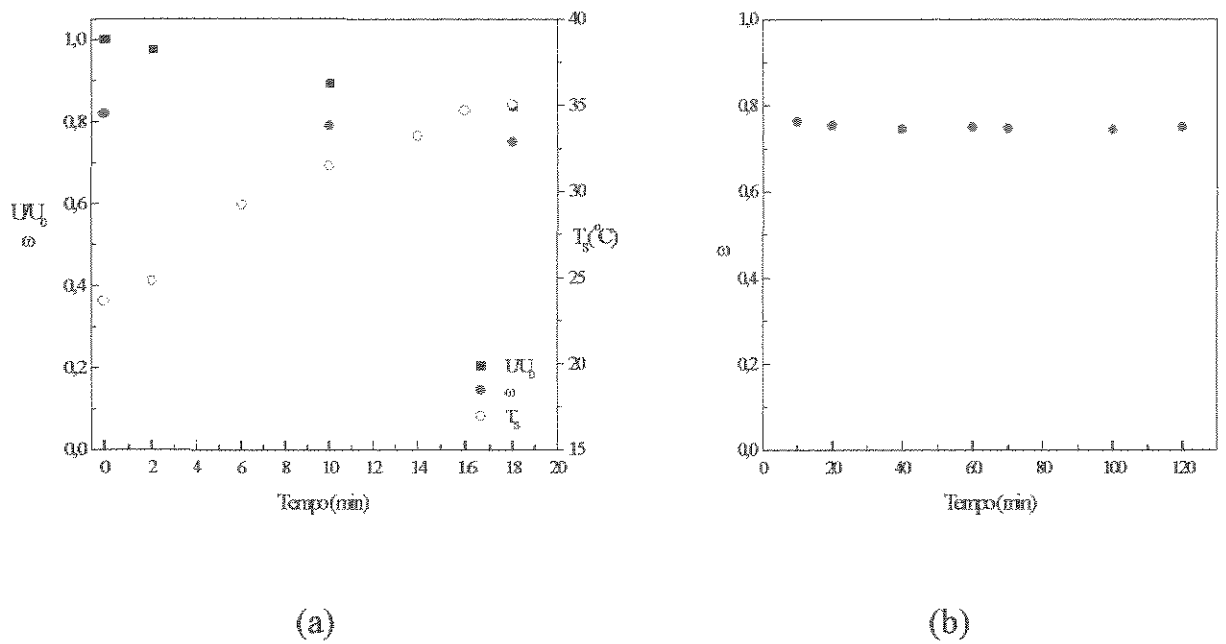


Figura B5 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.
 $T = 40^\circ\text{C}$; $W_0 = 5\text{kg}$; $U_0 = 0,21$; $Q/Q_{jm} = 1,42$; $T_{s0} = 23^\circ\text{C}$.

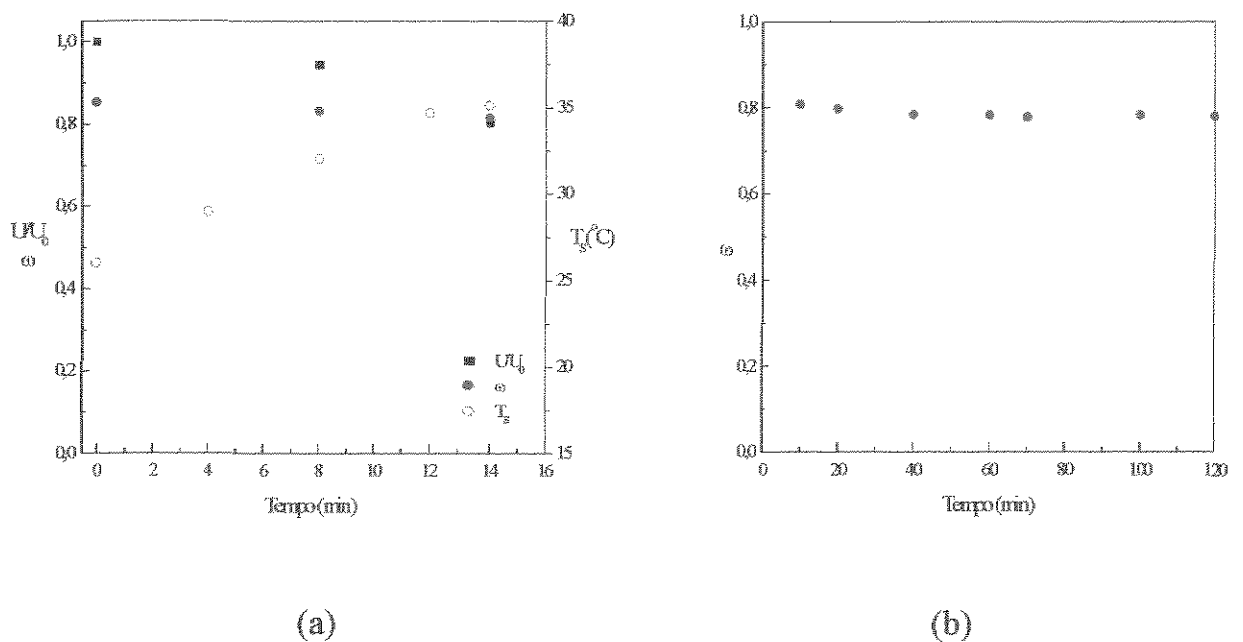
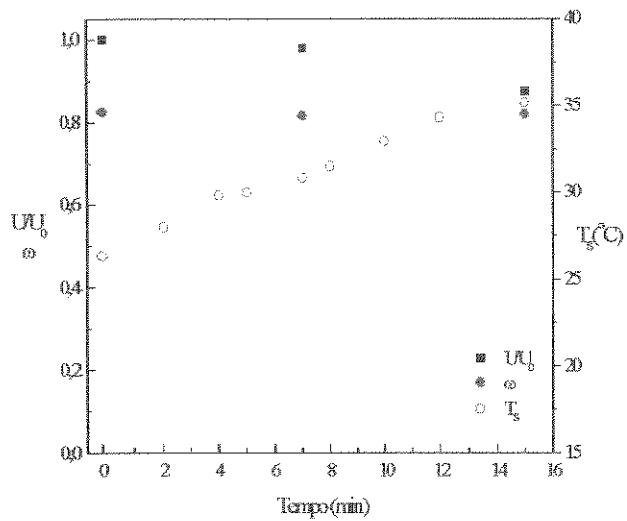
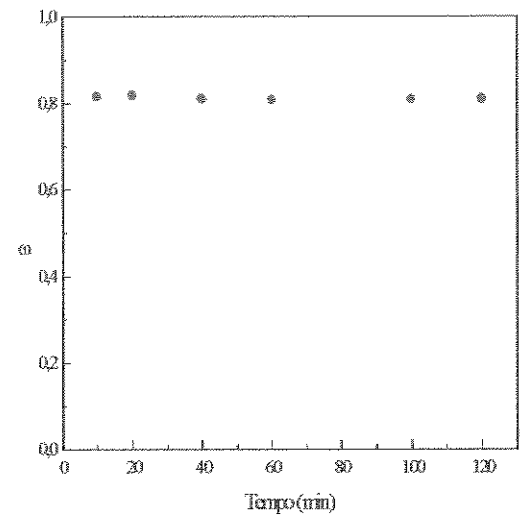


Figura B6 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.
 $T = 60^\circ\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,251$; $Q/Q_{jm} = 1,47$; $T_{s0} = 26^\circ\text{C}$.



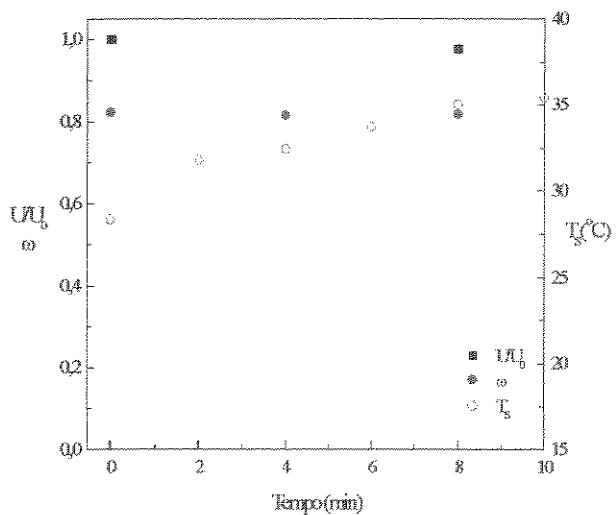
(a)



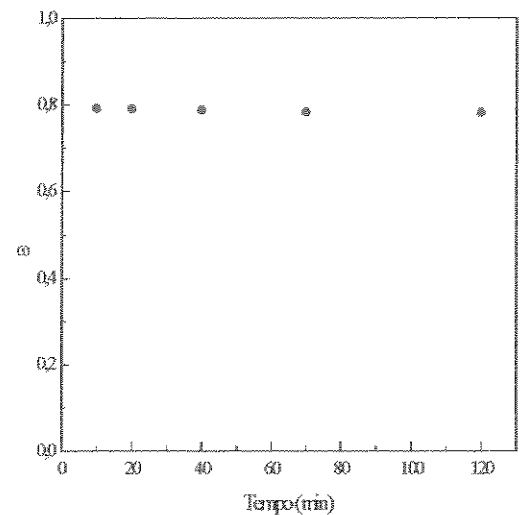
(b)

Figura B7 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 40^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,253$; $Q/Q_{\text{jm}} = 1,50$; $T_{s0} = 24^{\circ}\text{C}$.



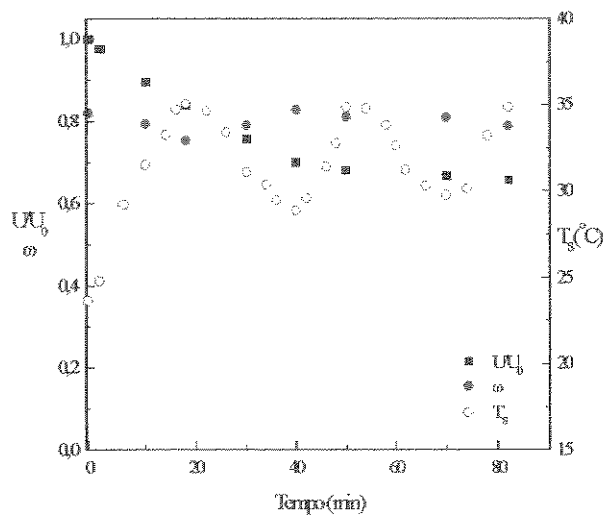
(a)



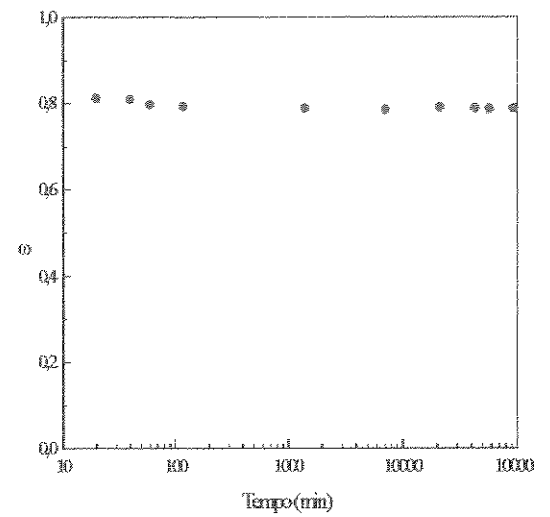
(b)

Figura B8 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 50^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,231$; $Q/Q_{\text{jm}} = 1,51$; $T_{s0} = 26^{\circ}\text{C}$.



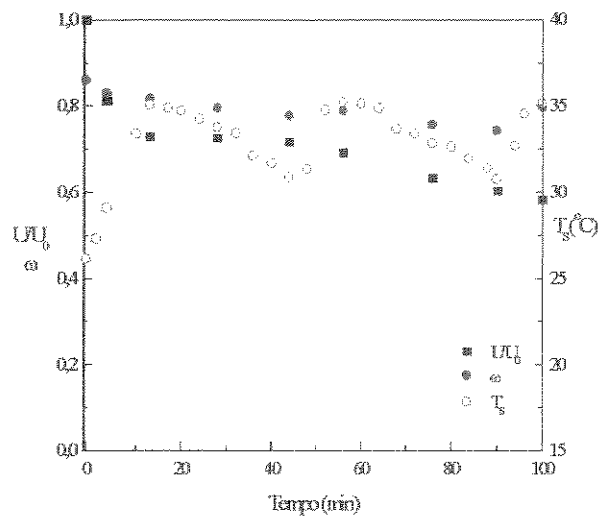
(a)



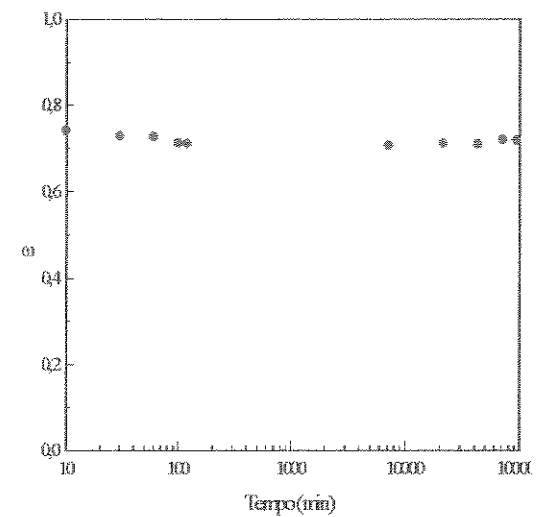
(b)

Figura B9 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 60^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,259$; $Q/Q_{jm} = 1,49$; $T_{s0} = 26^{\circ}\text{C}$; $n=2$; $t_c=20\text{min}$.



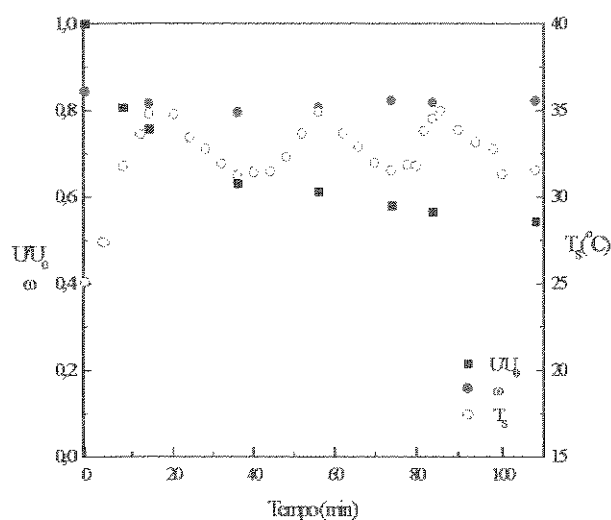
(a)



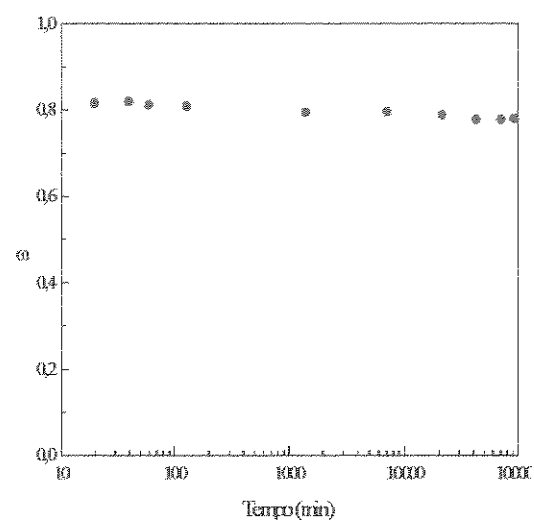
(b)

Figura B10 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 60^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,251$; $Q/Q_{jm} = 1,52$; $T_{s0} = 26^{\circ}\text{C}$; $n=2$; $t_c=30\text{min}$.



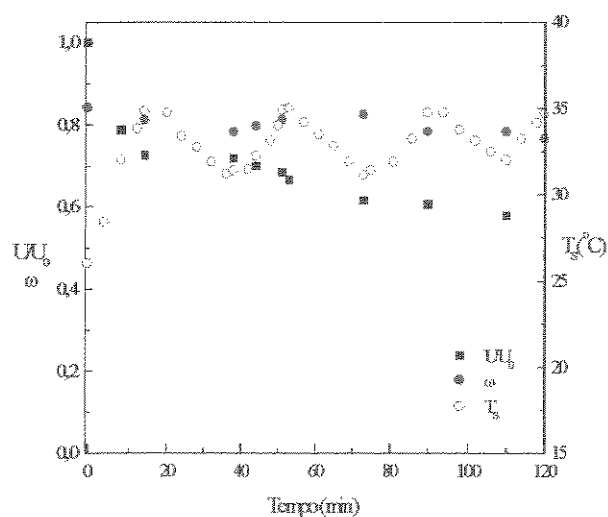
(a)



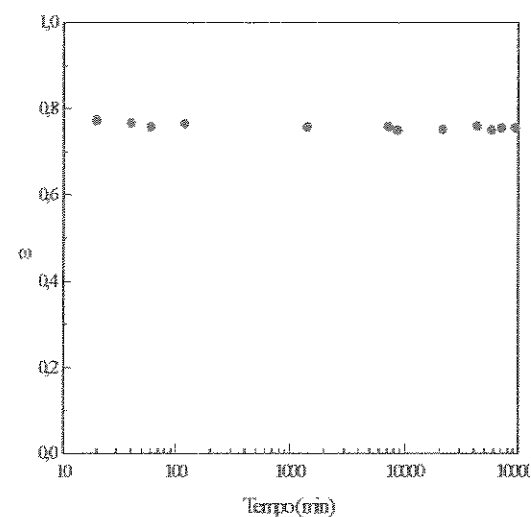
(b)

Figura B11 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 40^\circ\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,250$; $Q/Q_{jm} = 1,52$; $T_{s0} = 25^\circ\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



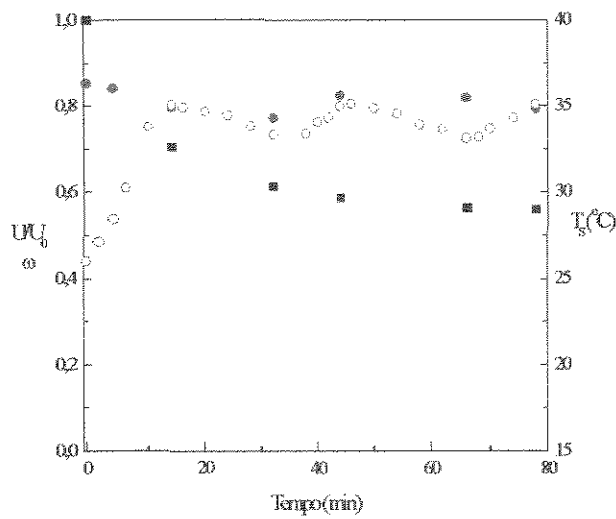
(a)



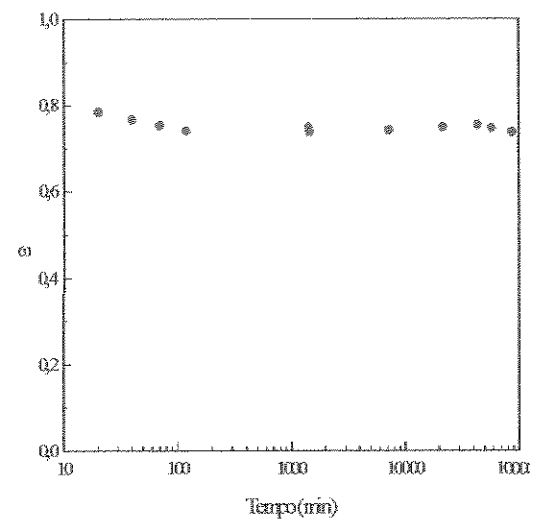
(b)

Figura B12- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 40^\circ\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,250$; $Q/Q_{jm} = 1,52$; $T_{s0} = 26^\circ\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



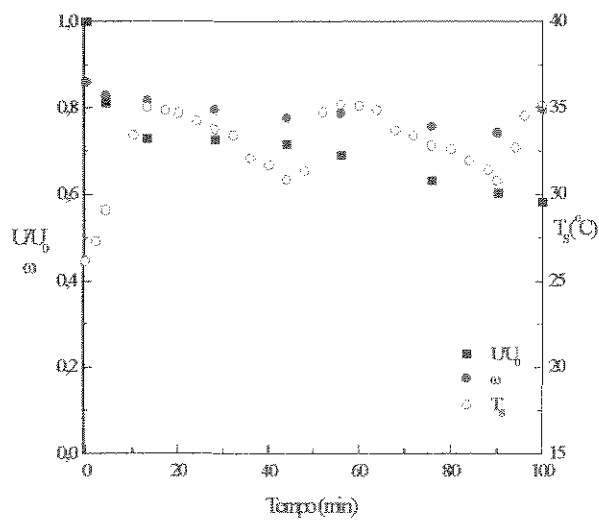
(a)



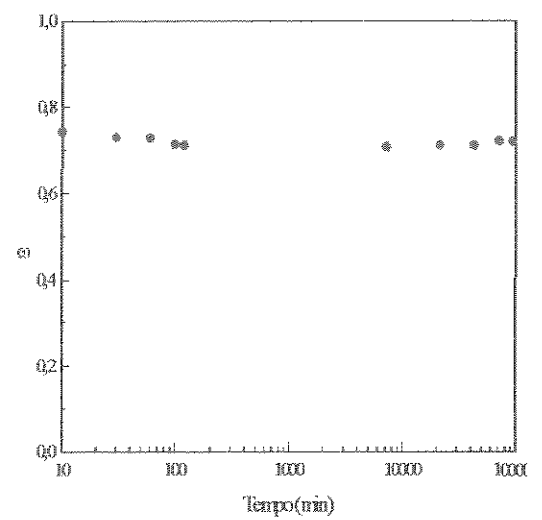
(b)

Figura B13- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 60^\circ\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,260$; $Q/Q_{im} = 1,52$; $T_{s0} = 25^\circ\text{C}$; $n=2$; $t_c=20\text{min}$.



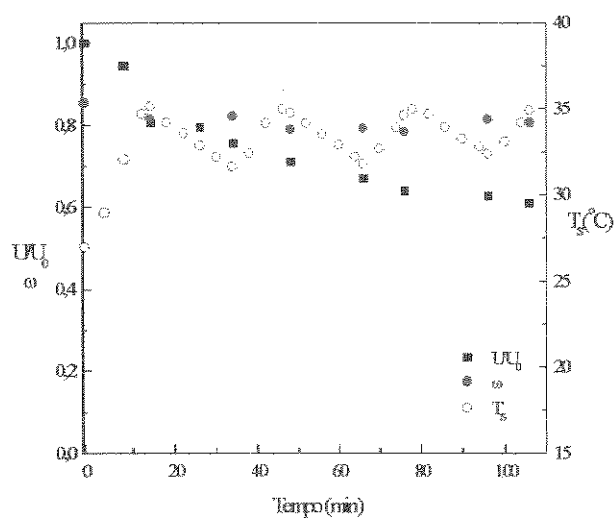
(a)



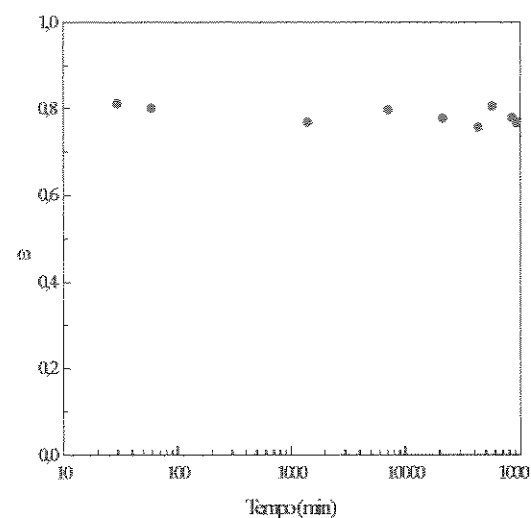
(b)

Figura B14- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 60^\circ\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,251$; $Q/Q_{im} = 1,52$; $T_{s0} = 26^\circ\text{C}$; $n=2$; $t_c=30\text{min}$.



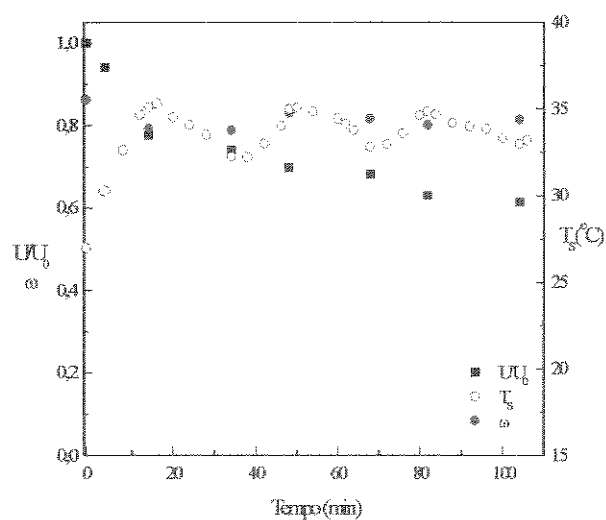
(a)



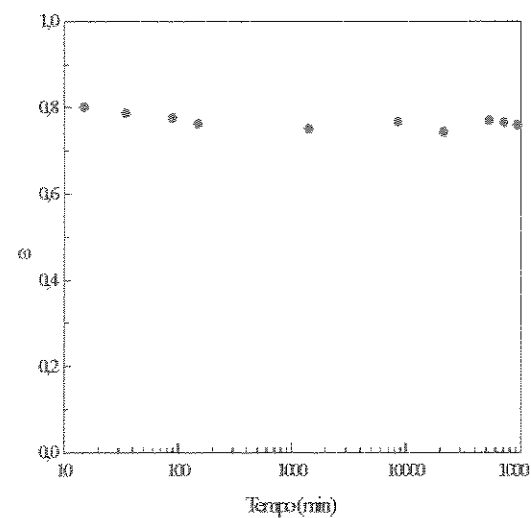
(b)

Figura B15- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 60^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,210$; $Q/Q_{\text{im}} = 1,93$; $T_{s0} = 26^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



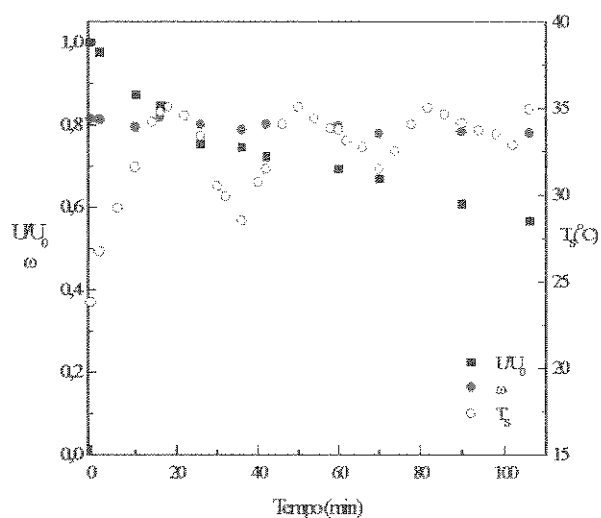
(a)



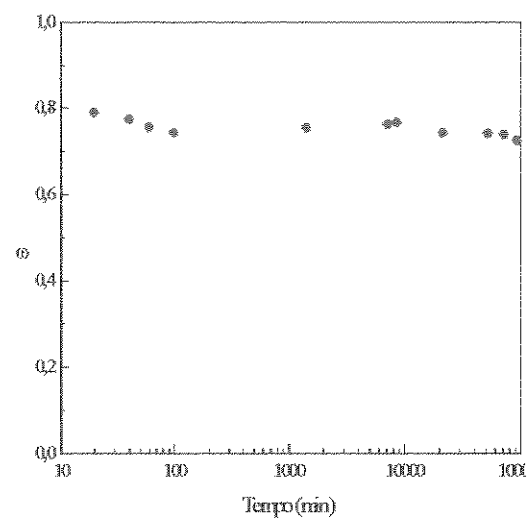
(b)

Figura B16- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 60^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 5\text{kg}$; $U_0 = 0,210$; $Q/Q_{\text{im}} = 1,87$; $T_{s0} = 27^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



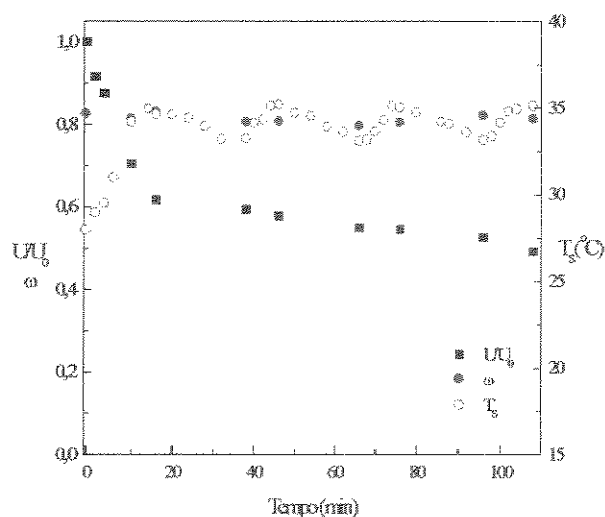
(a)



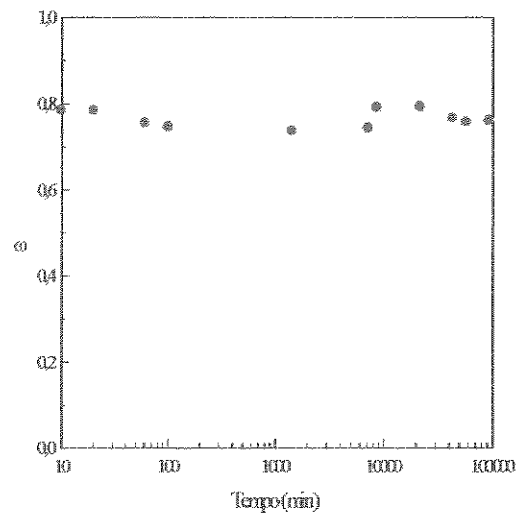
(b)

Figura B17- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 40^\circ\text{C}$; $W_0 = 5\text{kg}$; $U_0 = 0,210$; $Q/Q_{\text{im}} = 1,50$; $T_{s0} = 24^\circ\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



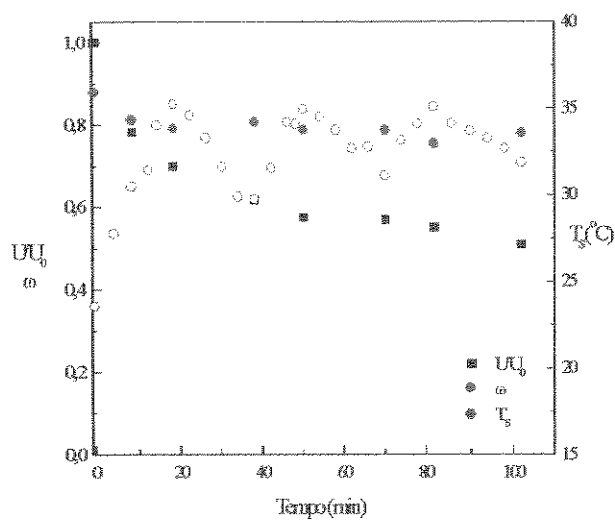
(a)



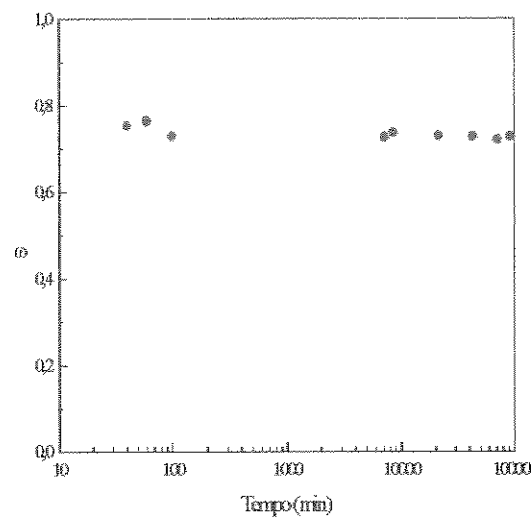
(b)

Figura B18- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 60^\circ\text{C}$; $W_0 = 5\text{kg}$; $U_0 = 0,259$; $Q/Q_{\text{im}} = 1,56$; $T_{s0} = 28^\circ\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



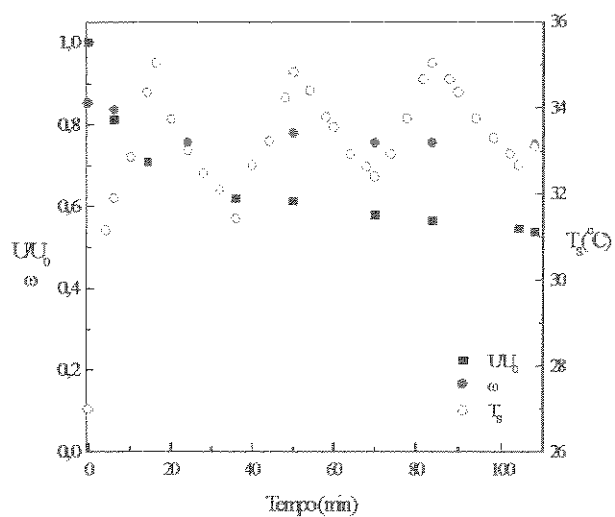
(a)



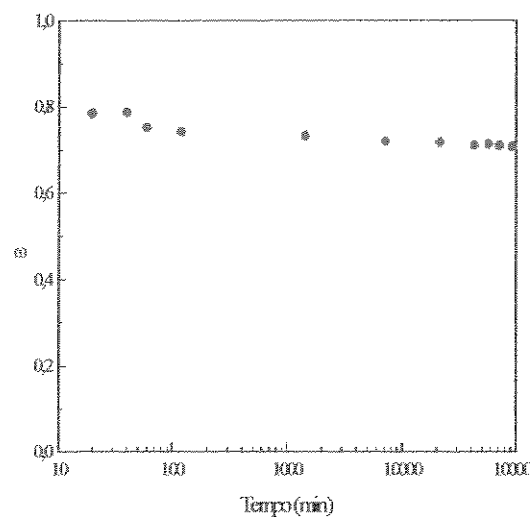
(b)

Figura B19- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 40^\circ\text{C}$; $W_0 = 5\text{kg}$; $U_0 = 0,250$; $Q/Q_{\text{im}} = 1,63$; $T_{s0} = 23^\circ\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



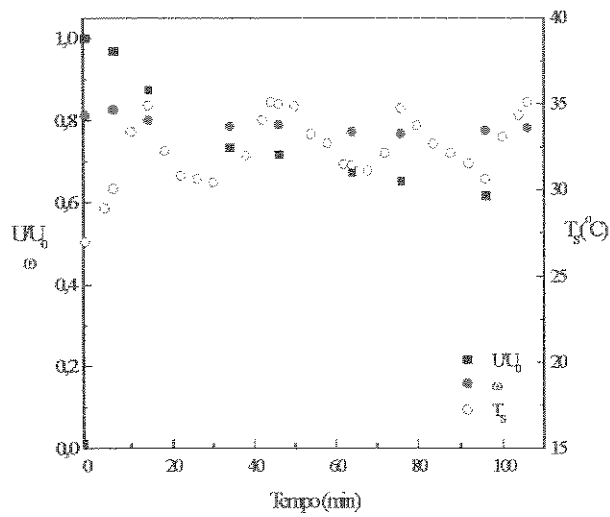
(a)



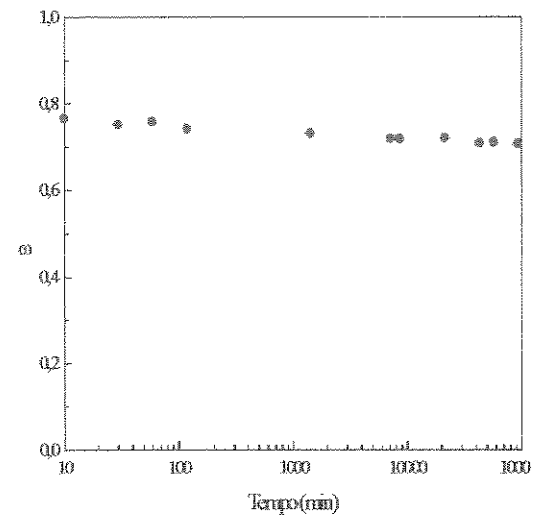
(b)

Figura B20- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 60^\circ\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,250$; $Q/Q_{\text{im}} = 1,52$; $T_{s0} = 27^\circ\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



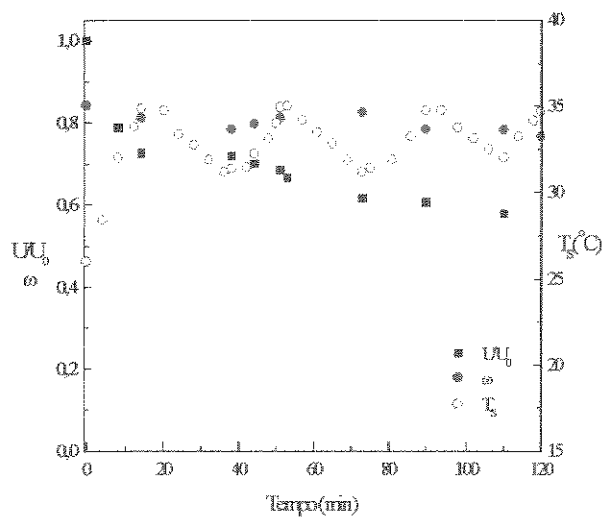
(a)



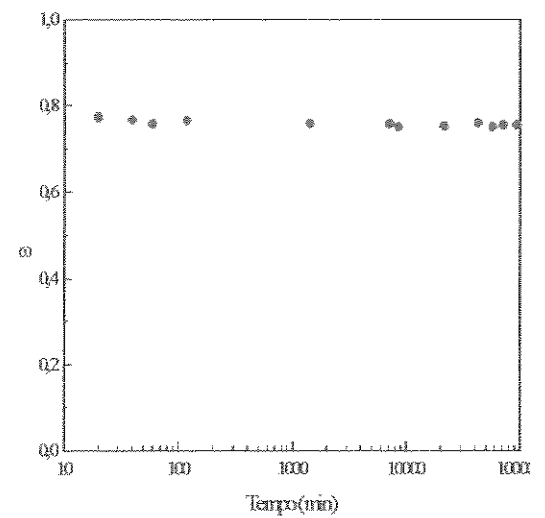
(b)

Figura B21- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 40^\circ\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,215$; $Q/Q_{im} = 1,87$; $T_{s0} = 27^\circ\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



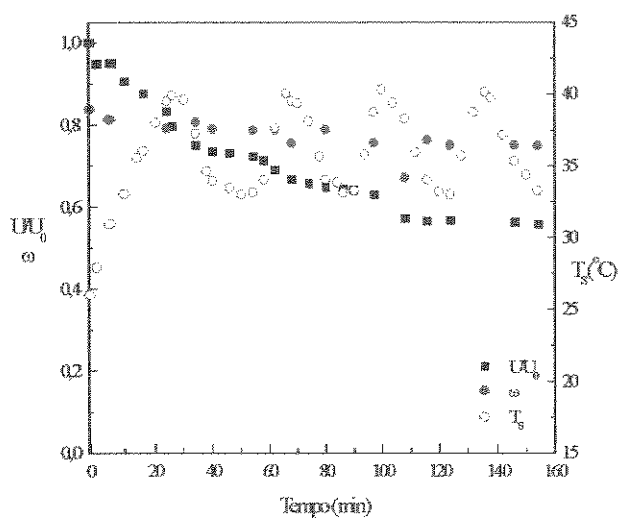
(a)



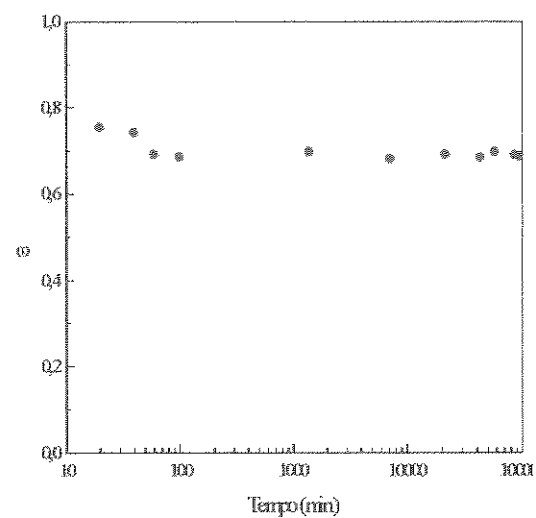
(b)

Figura B22- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 40^\circ\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,250$; $Q/Q_{im} = 1,52$; $T_{s0} = 26^\circ\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.

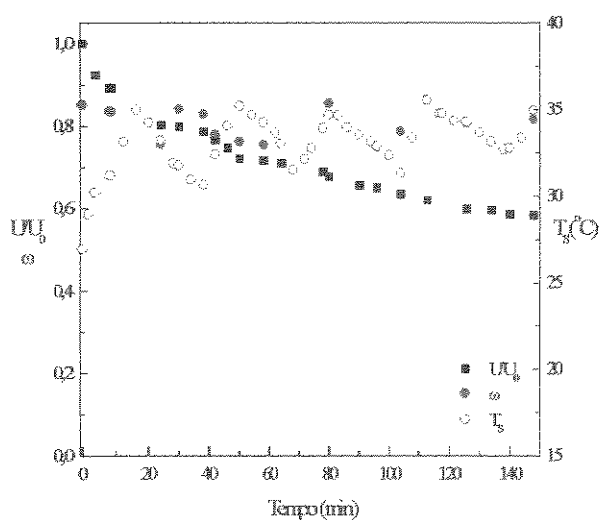


(a)

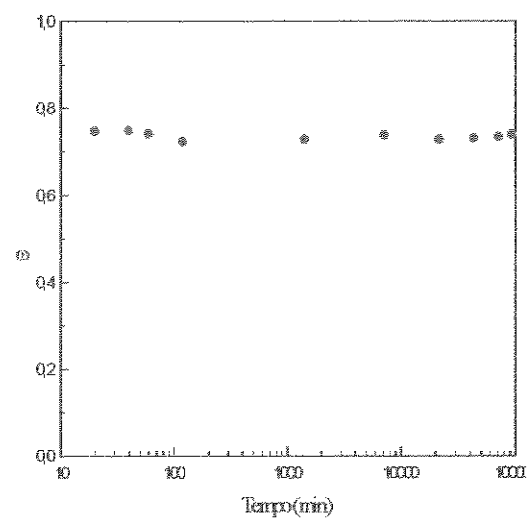


(b)

Figura B23- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.
 $T = 40^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,213$; $Q/Q_{jm} = 1,75$; $T_{s0} = 26^{\circ}\text{C}$; $T_{sf}=40^{\circ}\text{C}$; $n=4$; $t_c=20\text{min}$.

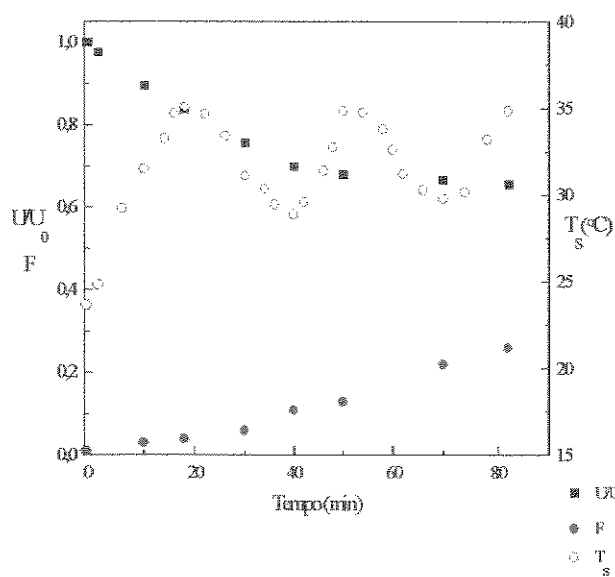


(a)

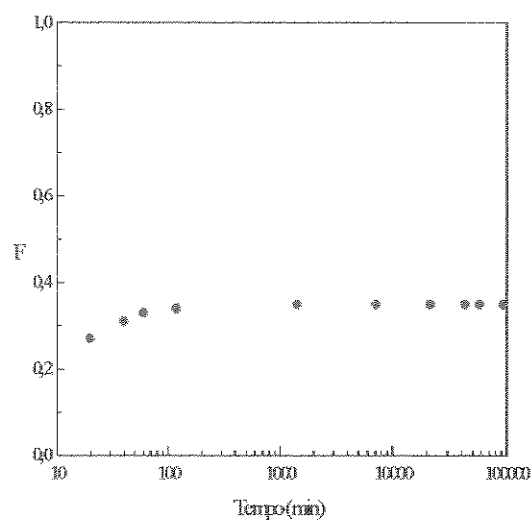


(b)

Figura B24- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.
 $T = 50^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,215$; $Q/Q_{jm} = 1,59$; $T_{s0} = 27^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



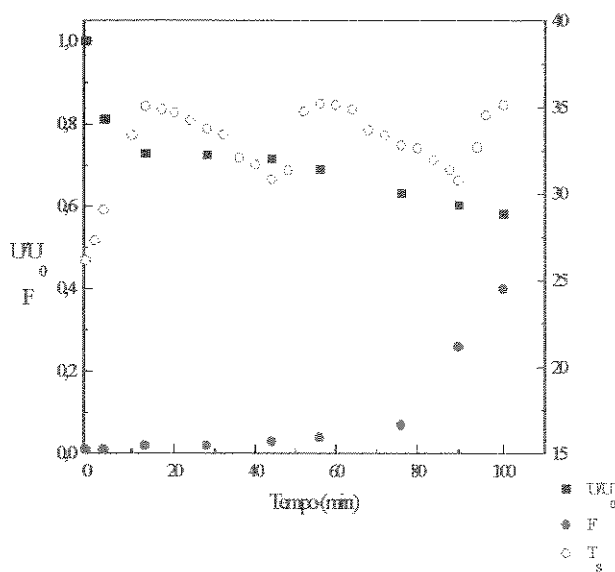
(a)



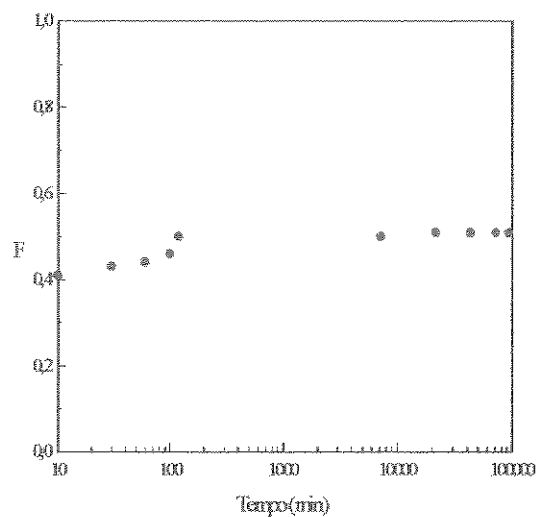
(b)

Figura B25 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 60^\circ\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,259$; $Q/Q_{jm} = 1,49$; $T_{s0} = 26^\circ\text{C}$; $n=2$; $t_c=20\text{min}$.



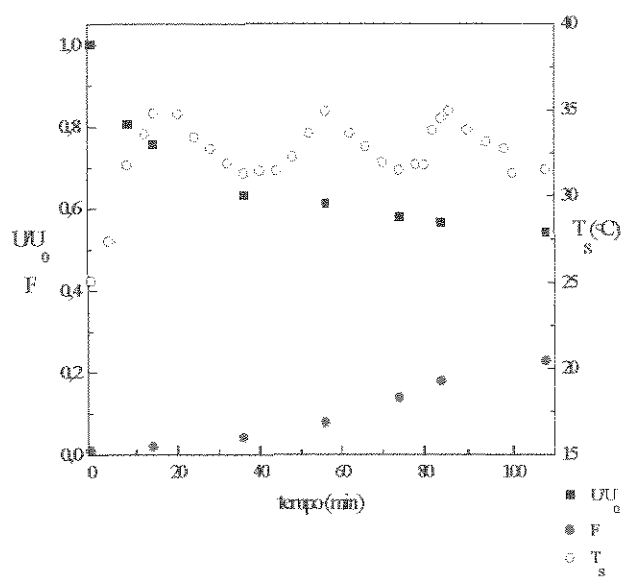
(a)



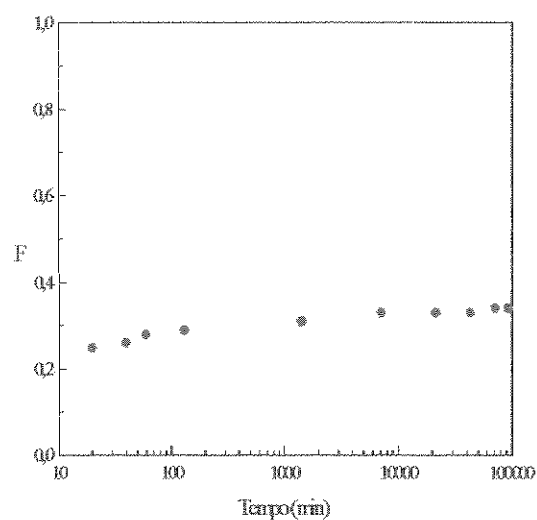
(b)

Figura B26 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 60^\circ\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,251$; $Q/Q_{jm} = 1,52$; $T_{s0} = 26^\circ\text{C}$; $n=2$; $t_c=30\text{min}$.



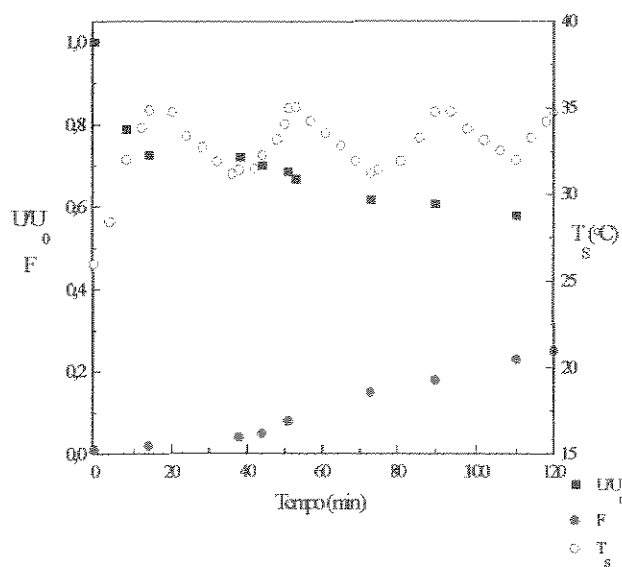
(a)



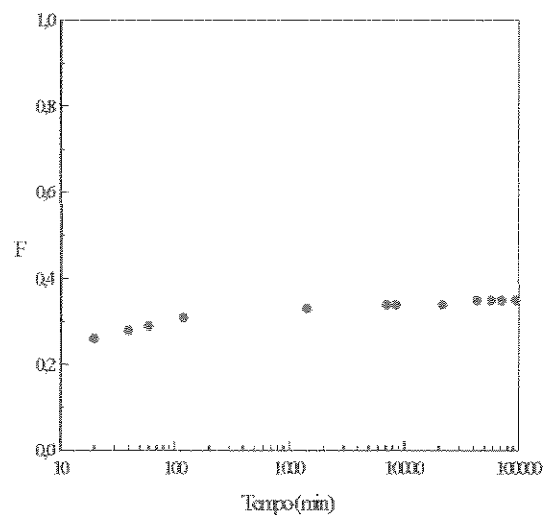
(b)

Figura B27 - Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 40^\circ\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,250$; $Q/Q_{im} = 1,52$; $T_{s0} = 25^\circ\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



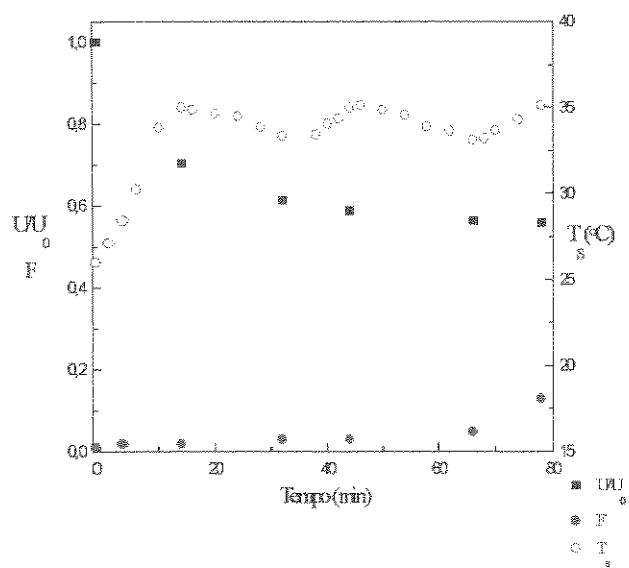
(a)



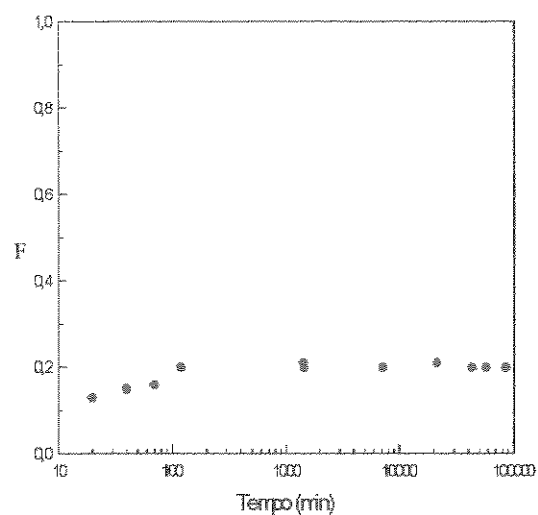
(b)

Figura B28- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 40^\circ\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,250$; $Q/Q_{im} = 1,52$; $T_{s0} = 26^\circ\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



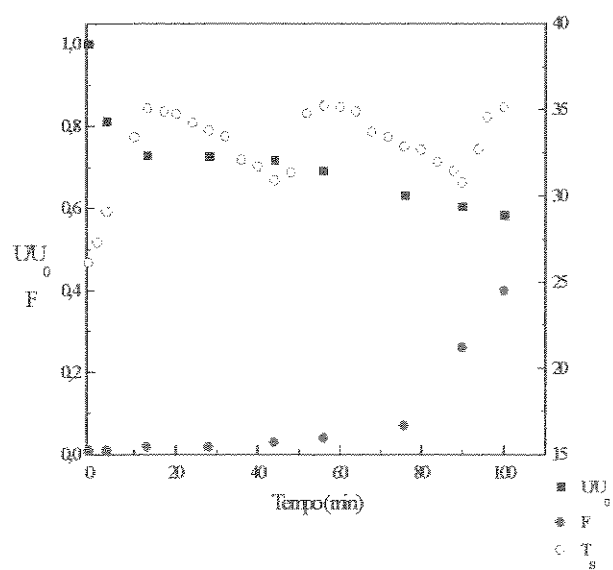
(a)



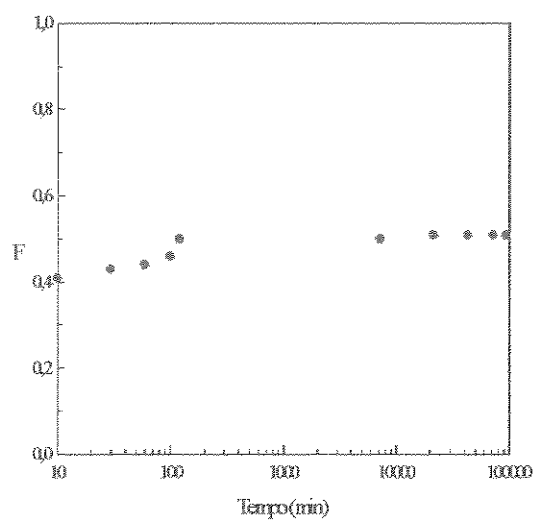
(b)

Figura B29- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 60^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,260$; $Q/Q_{jm} = 1,52$; $T_{s0} = 25^{\circ}\text{C}$; $n=2$; $t_c=20\text{min}$.



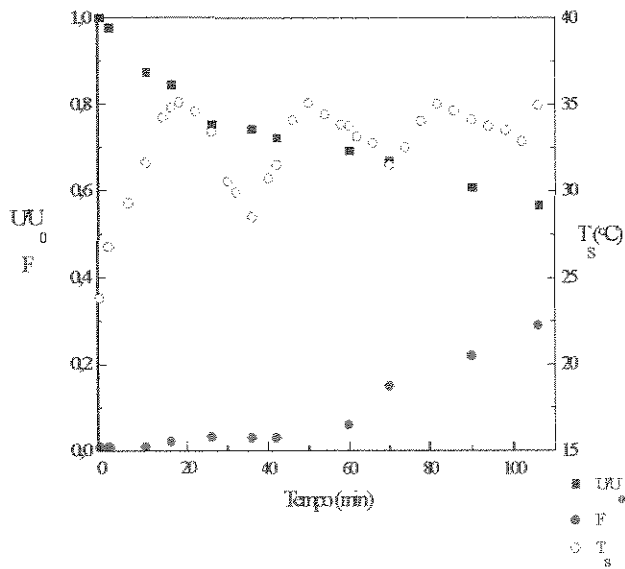
(a)



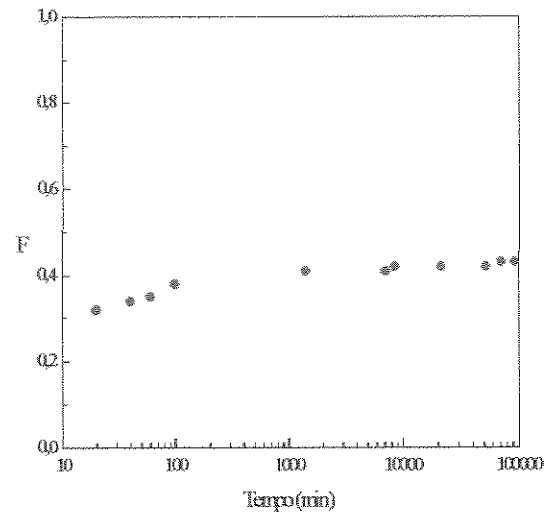
(b)

Figura B30- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 60^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,251$; $Q/Q_{jm} = 1,52$; $T_{s0} = 26^{\circ}\text{C}$; $n=2$; $t_c=30\text{min}$.



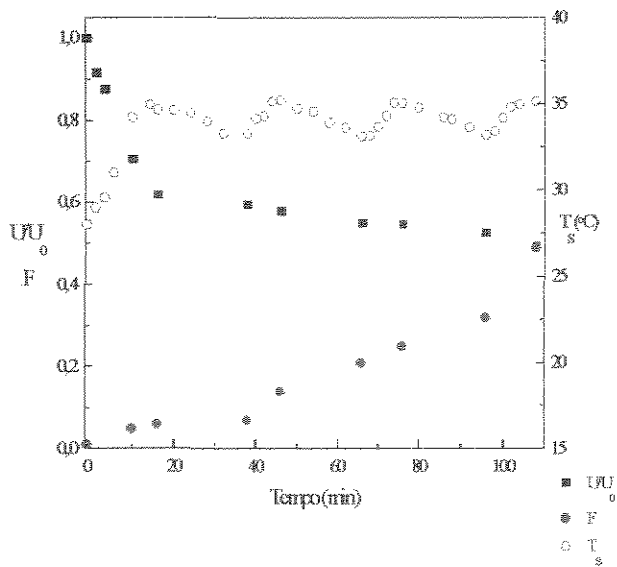
(a)



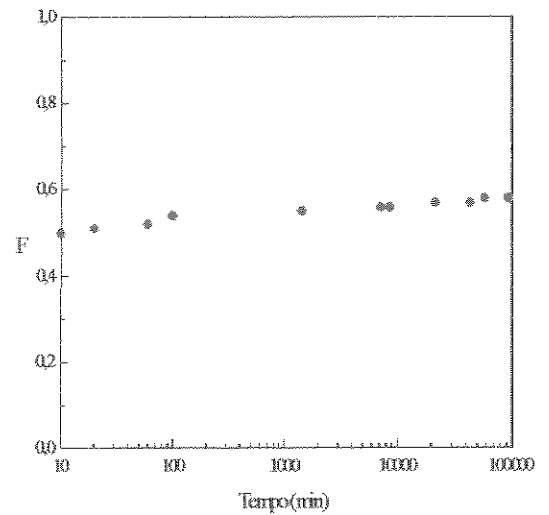
(b)

Figura B33- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 40^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 5\text{kg}$; $U_0 = 0,210$; $Q/Q_{jm} = 1,50$; $T_{s0} = 24^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



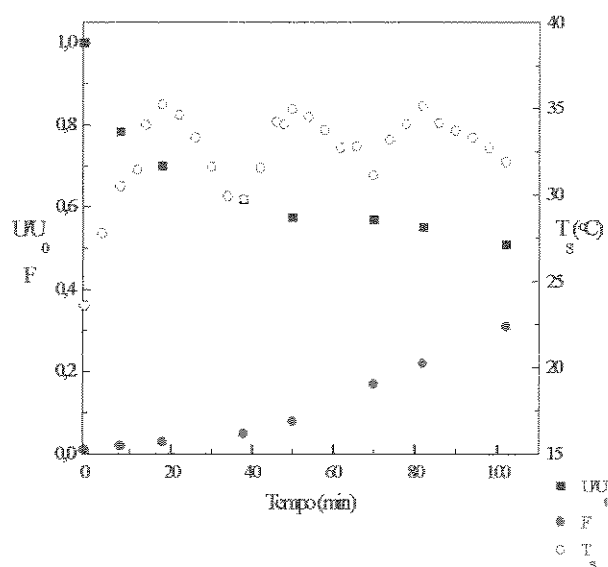
(a)



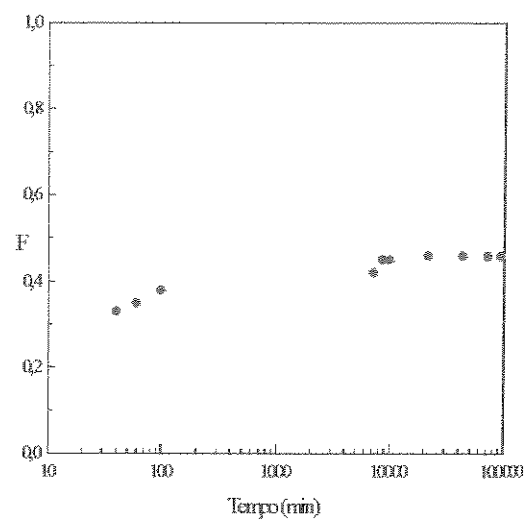
(b)

Figura B34- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 60^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 5\text{kg}$; $U_0 = 0,259$; $Q/Q_{jm} = 1,56$; $T_{s0} = 28^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



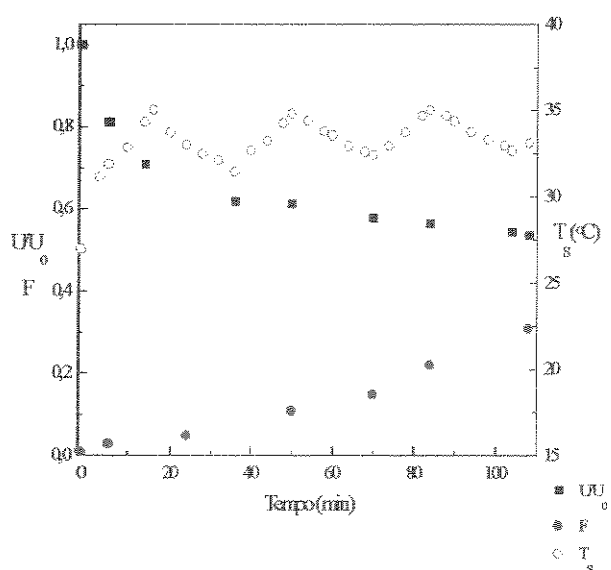
(a)



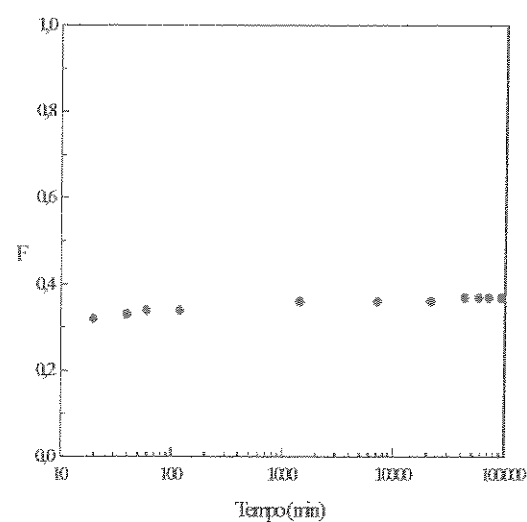
(b)

Figura B35- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 40^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 5\text{kg}$; $U_0 = 0,250$; $Q/Q_{jm} = 1,63$; $T_{s0} = 23^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.



(a)



(b)

Figura B36- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.

$T = 60^{\circ}\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,250$; $Q/Q_{jm} = 1,52$; $T_{s0} = 27^{\circ}\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.

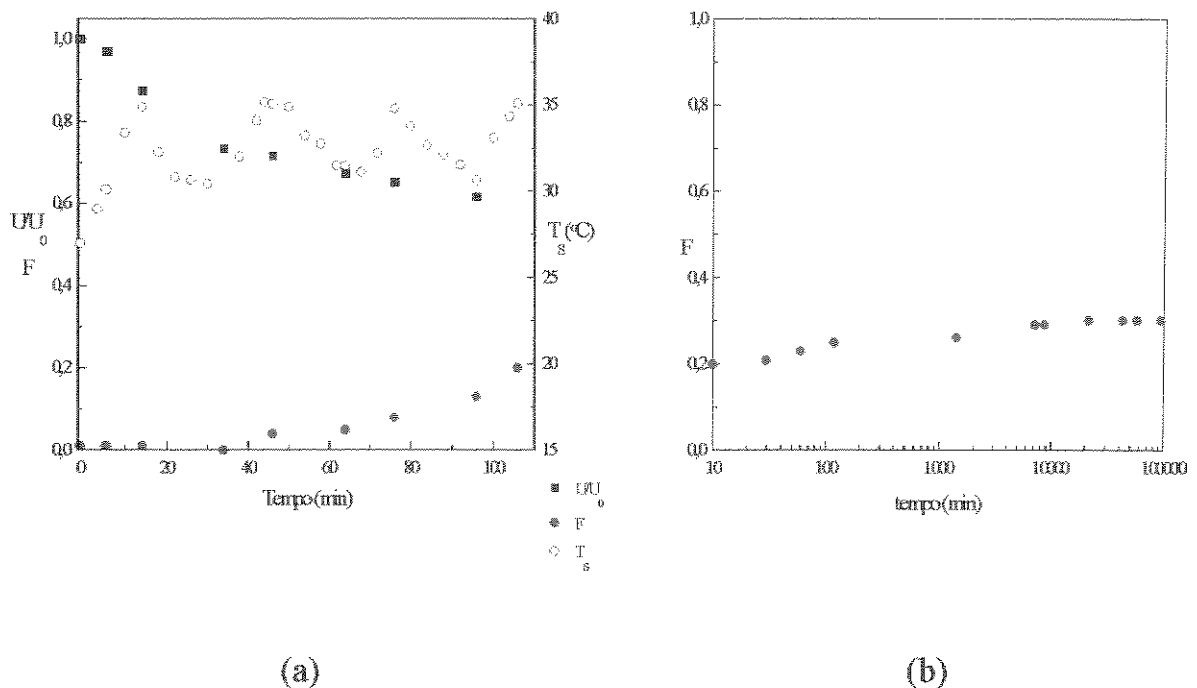


Figura B37- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.
 $T = 40^\circ\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,215$; $Q/Q_{jm} = 1,87$; $T_{s0} = 27^\circ\text{C}$; $n=3$; $t_c=20\text{min}$.

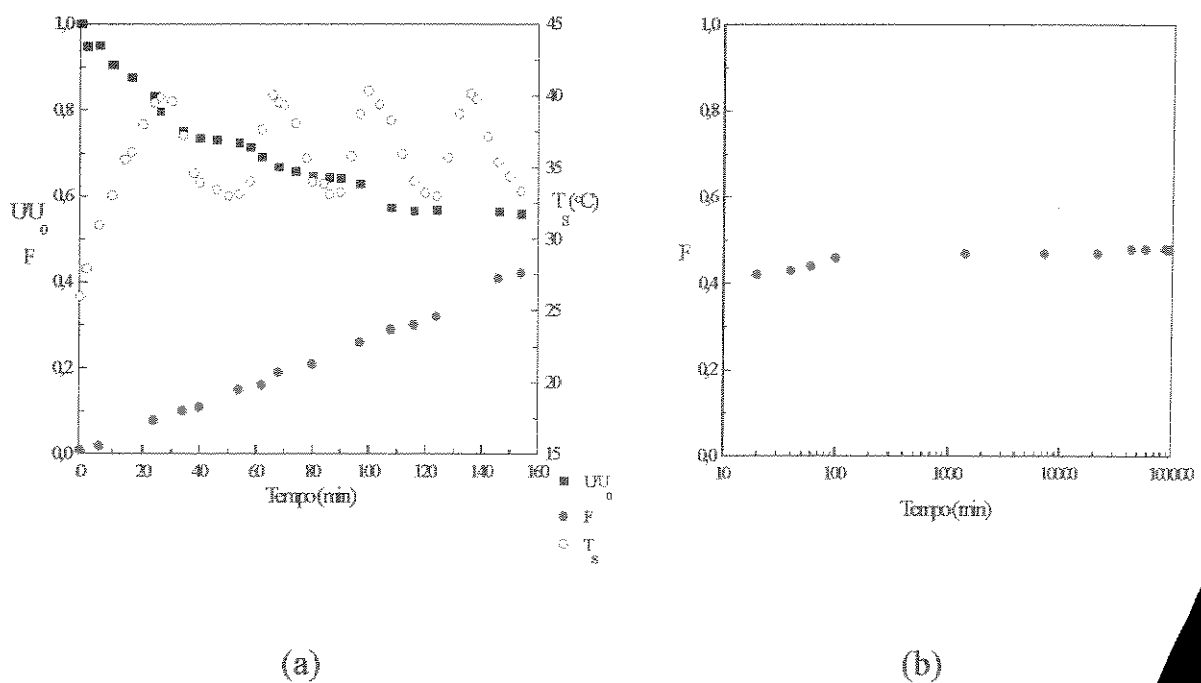


Figura B38- Curvas de variação de umidade, temperatura da semente e rendimento.
 $T = 40^\circ\text{C}$; $W_0 = 10\text{kg}$; $U_0 = 0,213$; $Q/Q_{jm} = 1,75$; $T_{s0} = 26^\circ\text{C}$; $T_{sf}=40^\circ\text{C}$; $n=4$; $t_c=20\text{min}$.

ANEXOS

CÁLCULO DA UMIDADE ABSOLUTA DO AR

Umidade absoluta do ar:

$$Y_{A\infty} = \frac{w_{A\infty}}{1 - w_{A\infty}}$$

Fração mássica:

$$w_{A\infty} = \frac{w_{Ai} + \psi C_p^*}{1 + \psi(1 - C_p^*)};$$

$$\psi = (1 - w_{Ai}) Le^{2/3} \ln \left[1 - \frac{C_{pA}}{\lambda_A} (T_\infty - T_i) \right];$$

$$C_p^* \equiv \frac{C_{pB}}{C_{pA}}$$

$$w_A = y_A \frac{M_A}{M}; \quad M = M_B + y_A (M_A - M_B)$$

$$M_A = 18,015 \text{ g / gmol}; \quad M_B = 28,85 \text{ g / gmol};$$

$$Le = \frac{\alpha_{\text{mis}}}{D_{AB}}; \quad \text{em que } \alpha_{\text{mis}} = \frac{k_{\text{mis}}}{(\rho C_p)_{\text{mis}}};$$

$$k_{\text{mis}} = \frac{y_A k_A}{y_A \phi_{AA} + y_B \phi_{AB}} + \frac{y_B k_B}{y_A \phi_{BA} + y_B \phi_{BB}}$$

considerando o ar úmido: Mason e Saxena (1958):

$$\phi_{ii} = \phi_{AA} = \phi_{BB} = 1; \quad \phi_{AB} = \frac{\left[1 + (\mu_A / \mu_B)^{1/2} (M_B / M_A)^{1/4}\right]^2}{\left\{8 \cdot [1 + (M_A / M_B)]\right\}^{1/2}};$$

$$\phi_{BA} = \frac{\left[1 + (\mu_B / \mu_A)^{1/2} (M_A / M_B)^{1/4}\right]^2}{\left\{8 \cdot [1 + (M_B / M_A)]\right\}^{1/2}}$$

As viscosidades tanto de A quanto de B são calculadas por: (temperatura utilizada em °C), VDI Wärmeatlas (1987)

$$\mu_A = 7,76998 \times 10^{-6} + 7,27327 \times 10^{-8} T - 8,1094 \times 10^{-10} T^2 + 7,374 \times 10^{-12} T^3 + \\ -2,83617 \times 10^{-14} T^4 + 3,858261 \times 10^{-17} T^5 \quad (\text{em Pa.s})$$

$$\mu_B = 1,69111 \times 10^{-5} + 4,98424 \times 10^{-8} T - 3,18702 \times 10^{-11} T^2 + 1,31965 \times 10^{-14} T^3 \quad (\text{em Pa.}$$

$$\text{mas: } 1(\text{Pa.s}) = 10\text{g} / (\text{cm.s})$$

As condutividades térmicas tanto A quanto de B são calculadas por (temperatura em °C), VDI Wärmeatlas (1987)

$$k_A = 1,71533 \times 10^{-2} + 1,95685 \times 10^{-4} T - 3,3839 \times 10^{-6} T^2 + 3,312023 \times 10^{-8} T^3 + \\ -1,15393 \times 10^{-10} T^4 + 1,61044 \times 10^{-13} T^5 \quad (\text{W/m.K})$$

$$k_B = 2,42503 \times 10^{-2} + 7,88913 \times 10^{-5} T - 1,79034 \times 10^{-8} T^2 - 8,5705 \times 10^{-12} T^3 \quad (\text{W/m.K})$$

$$\text{mas: } 1(\text{W/m.K}) = 10^{-3} \text{kJ}/(\text{m.s.}^\circ\text{C}).$$

As capacidades caloríficas de A e B são postas segundo (temperatura em °C), Baeh e Schwier (1961)

$$(\rho C_p)_{\text{mis}} = \rho_A C_{pA} + \rho_B C_{pB}; \quad C_{pA} = 1,8584 + 9,4 \times 10^{-5} T + 3,73 \times 10^{-7} T^2$$

$$C_{pB} = 1,00926 - 4,04033 \times 10^{-5} T + 6,17596 \times 10^{-7} T^2 - 4,09723 \times 10^{-10} T^3 \quad (\text{kJ} / \text{kg} \cdot ^\circ \text{C})$$

As concentrações mássicas de A e de B podem ser calculadas por:

$$\rho_i = \frac{y_i M_i}{RT}; \quad \text{sendo } i = A \text{ ou } B \text{ e } R = 82,05 (\text{cm}^3 \cdot \text{atm} / \text{gmol} \cdot \text{K});$$

T em (Kelvin); $T(^{\circ}\text{C}) + 273,15$.

O coeficiente de difusão é estimado a partir de Füller et al. (1966):

$$D_{AB} = 0,288 \left(\frac{1}{P} \right) \left(\frac{T}{313,15} \right)^{1,75} \quad \text{em } \text{cm}^2 / \text{s}; \quad P \text{ em (atm) e } T \text{ em (K)}$$

A pressão de vapor da água pode ser determinada por Reid et al. (1977):

$$\ln P_A^{\text{vap}} = 18,3096 - \frac{3816,44}{(T - 46,13)} \quad \text{em (mmHg) e } T \text{ em (Kelvin); obs:}$$

$$y_A^{\text{vap}} = \frac{P_A^{\text{vap}}}{P}$$

O calor latente de vaporização da água pode ser calculado pela seguinte correlação, Pakowiski et al. (1991):

$$\lambda_A = 352,58(374,14 - T)^{0,33052} \quad \text{em (kJ/kg) e } T \text{ em } ^\circ \text{C}.$$